

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL - UFRGS**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS**

**CICLOESTRATIGRAFIA NO CENOMANIANO SUPERIOR E  
TURONIANO DO OCEANO ATLÂNTICO SUL**

**ARMANDO ANTÔNIO SCARPARO CUNHA**  
CENPES/PDEP/BPA  
R 6146

**ORIENTADOR: DR. EDUARDO A. M. KOUTSOUKOS**  
**CO-ORIENTADOR: DR. NILO CHAGAS DE AZAMBUJA FILHO**

**COMISSÃO EXAMINADORA:**

**Dr. CLÓVIS FRANCISCO SANTOS**  
**Dr. DIMAS DIAS-BRITO**  
**Dra. VALESCA BRASIL LEMOS**

Tese de doutorado apresentada como requisito parcial para obtenção do título de  
Doutor em Ciências

2001

**E&P-CORP / TIDT / DT**  
**Reg. T5517/C914**  
**I: 2460315**  
**O: 2472387**  
**Data: 26/06/01**

Cunha, Armando Antônio Scarparo  
Cicloestratigrafia no Cenomaniano Superior e Turoniano do Oceano  
Atlântico Sul. / Armando Antônio Scarparo Cunha. – Porto Alegre:  
UFRGS, 2000.

[343 f.] il.

Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de  
Geociências. Programa de pós-graduação em geociências, Porto Alegre,  
RS – BR, 2001.

1. Estratigrafia. 2. Cicloestratigrafia. 3. Turoniano. 4. Cenomaniano.  
5. Oceano Atlântico Sul. 6. Nanofóssis. 7. Paleoceanografia.  
I. Título.

---

Catálogo na Publicação  
Renata Cristina Grün CRB 10/111



## AGRADECIMENTOS

Desde que iniciei o curso de pós-graduação na UFRGS até a entrega desta tese de doutorado, contei com a colaboração de um grande número de colegas da PETROBRAS e da UFRGS. Enumerar todas estas pessoas é uma tarefa bastante difícil. Desta forma, independente dos agradecimentos nominais que serão feitos, agradeço a todas as pessoas que de alguma forma contribuíram para que este trabalho fosse concluído.

### Agradeço:

- Ao orientador Dr. Eduardo A. Koutsoukos pelas discussões, revisões e sugestões.
- Aos colegas Luiz Carlos V. de Oliveira e Maria do Carmo G. Severino pela revisão desta monografia.
- Aos Drs. Nilo Azambuja Filho e René Rodrigues pelas sugestões e discussões.
- Em especial gostaria de agradecer à Carmo pelo incentivo, apoio e paciência, fundamentais nestes longos anos de dedicação a este trabalho.
- Aos colegas de curso Ricardo L. M. de Azevedo, Maria do Carmo G. Severino, Alexandre A. Grassi, Antônio Bernardo R. Teixeira, Luciana M. Félix, José M. de Oliveira, Fernanda G. da Silva, Edmundo J. J. Marques, Gilmar V. Bueno, Paulo E. Vieira e Laury M. de Araújo pelas discussões técnicas e pelo clima de cordialidade ao longo dos três anos de curso.
- Aos colegas do CENPES: Mário G. da Silva, Rogério Pires, Rozendo de Carvalho, João Bosco de Oliveira, Ailton L. S. de Souza, Rogério S. M. da Costa, Carlos J. T. Rodrigues pela preparação e confecção das lâminas, análises laboratoriais e análises ao MEV.
- Aos profissionais do SINTEP, especialmente à Vanda e à Mônica, pelo auxílio na recuperação de documentos e informações.
- Aos geólogos do E&P/SE, Paulo Galm, Paulo R. S. Santos, James V. Ferreira pelo apoio prestado durante a minha estada em Aracajú.
- Aos funcionários do curso de pós-graduação da UFRGS; em especial ao Carlos pela confecção de algumas ilustrações e à bibliotecária Renata C. Grün pela revisão das referências

bibliográficas.

- Ao professor José A. T. B. da Costa (UFSM) pelo desenvolvimento do programa de tratamento de imagens.
- Aos colegas Oscar Strohschoen Jr. e Eduardo Koutsoukos pelas análises de foraminíferos.
- À Carla V. Araújo pela petrografia orgânica.
- Ao grupo da geoquímica responsável pelas análise de COT e isótopos.
- Ao Gerson Terra por todo o apoio prestado ao longo dos três anos de curso.
- Aos meus pais pela dedicação e exemplo, fundamentais na formação da minha personalidade e maneira de viver.
- Aos Drs. Valesca B. Lemos, Clóvis F. Santos, Dimas Dias-Brito, René Rodrigues e Rogério L. Antunes por aceitarem o convite para participar da banca examinadora desta tese.
- À PETROBRAS pela oportunidade de fazer este curso e pelo suporte financeiro.
- Ao DSDP pela cedência das amostras e informações.

## SUMÁRIO

|  |            |
|--|------------|
| <b>AGRADECIMENTOS .....</b>  | <b>ii</b>  |
| <b>SUMÁRIO .....</b>   | <b>iv</b>  |
| <b>RELAÇÃO DAS FIGURAS, FOTOS, TABELAS E ANEXOS .....</b>  | <b>vii</b> |
| <b>RESUMO .....</b>  | <b>xii</b> |
| <b>ABSTRACT .....</b>  | <b>xv</b>  |
| <b>PARTE I - INTRODUÇÃO, METODOLOGIA, CONSIDERAÇÕES TEÓRICAS E OS NANOFÓSSEIS DO CENOMANIANO-TURONIANO .....</b>           | <b>1</b>   |
| <b>1. INTRODUÇÃO .....</b>   | <b>1</b>   |
| <b>2. METODOLOGIA .....</b>  | <b>5</b>   |
| 2.1 DADOS BIOESTRATIGRÁFICOS E PALEOECOLÓGICOS .....   | 5          |
| 2.2 DADOS GEOQUÍMICOS .....  | 7          |
| 2.3 TESTEMUNHOS DO DSDP .....  | 9          |
| 2.4 TRATAMENTO MATEMÁTICO DOS DADOS .....  | 11         |
| 2.4.1 Análise Espectral .....  | 11         |
| 2.4.2 Análise Fatorial .....   | 17         |
| <b>3. OS ANDARES CENOMANIANO E TURONIANO .....</b>   | <b>21</b>  |
| 3.1 PALEOGEOGRAFIA .....   | 21         |
| 3.2 CLIMA, CIRCULAÇÃO OCEÂNICA E ATMOSFÉRICA .....   | 25         |
| 3.2.1 Circulação Oceânica e Atmosférica .....  | 26         |
| 3.2.2 Modelos Numéricos Climáticos Globais .....   | 30         |
| 3.3 PRODUTIVIDADE PRIMÁRIA .....   | 33         |
| <b>4. DEPÓSITOS PELÁGICOS-HEMIPELÁGICOS E TURBIDITOS DE GRANULOMETRIA FINA: PROCESSOS E FÁCIES.....</b>                    | <b>40</b>  |
| 4.1 SISTEMAS PELÁGICOS-HEMIPELÁGICOS .....   | 40         |
| 4.1.1 Componentes Biogênicos .....   | 43         |
| 4.1.2 Componentes Não Biogênicos .....   | 45         |
| 4.2 SISTEMAS TURBIDÍTICOS DE GRANULOMETRIA FINA .....  | 47         |
| <b>5. CICLICIDADE EM DEPÓSITOS MARINHOS PROFUNDOS DO CRETÁCEO .....</b>  | <b>51</b>  |
| <b>6. ISÓTOPOS DE OXIGÊNIO E CARBONO EM DEPÓSITOS HEMIPELÁGICOS: INDICADORES DE PALEOPRODUTIVIDADE E TEMPERATURA .....</b> | <b>58</b>  |
| 6.1 ISÓTOPOS DE OXIGÊNIO .....   | 58         |
| 6.2 ISÓTOPOS DE CARBONO .....  | 64         |

## **7. NANOFÓSSEIS CALCÁRIOS DO CENOMANIANO - TURONIANO: PALEOECOLOGIA, PALEOBIOGEOGRAFIA, BIOESTRATIGRAFIA E SISTEMÁTICA..... 71**

|   |     |
|---|-----|
| 7.1 PALEOECOLOGIA E PALEOBIOGEOGRAFIA DOS POÇOS DSDP-511 E DSDP-364.....              | 74  |
| 7.1.1 Análise Fatorial dos dados geoquímicos e paleontológicos do poço DSDP-364 ..... | 75  |
| 7.1.2 Análise Fatorial dos dados geoquímicos e paleontológicos do poço DSDP-511 ..... | 81  |
| 7.2 BIOESTRATIGRAFIA .....  | 89  |
| 7.3 SISTEMÁTICA .....   | 95  |
| 7.3.1 Heterococolitos .....   | 96  |
| 7.3.2 Holococolitos .....   | 109 |

## **PARTE II - CICLICIDADE EM SUCESSÕES SEDIMENTARES PELÁGICAS-HEMIPELÁGICAS . 116**

### **8. PLATÔ DE SÃO PAULO (POÇO DSDP-356) ..... 116**

|   |     |
|---|-----|
| 8.1 APRESENTAÇÃO DOS DADOS .....                      | 116 |
| 8.2 BIOESTRATIGRAFIA .....                            | 123 |
| 8.3 CICLOESTRATIGRAFIA .....                          | 125 |
| 8.4 INTERPRETAÇÃO DOS DADOS E ORIGEM DOS CICLOS ..... | 128 |

### **9. BACIA DE ANGOLA (POÇO DSDP-364) ..... 130**

|   |     |
|---|-----|
| 9.1 APRESENTAÇÃO DOS DADOS .....                      | 130 |
| 9.2 BIOESTRATIGRAFIA .....                            | 139 |
| 9.3 CICLOESTRATIGRAFIA .....                          | 142 |
| 9.4 INTERPRETAÇÃO DOS DADOS E ORIGEM DOS CICLOS ..... | 146 |

## **PARTE III - CICLICIDADE EM SUCESSÕES SEDIMENTARES DOMINADAS POR ROCHAS RICAS EM MATÉRIA ORGÂNICA E TURBIDITOS SÍLTICO-ARGILOSOS ..... 152**

### **10. BACIA DE ANGOLA (POÇO DSDP-530A) ..... 152**

|   |     |
|---|-----|
| 10.1 APRESENTAÇÃO DOS DADOS .....   | 155 |
| 10.2 BIOESTRATIGRAFIA .....   | 175 |
| 10.3 CICLOESTRATIGRAFIA .....   | 176 |
| 10.4 CONSIDERAÇÕES SOBRE OS DADOS GEOQUÍMICOS E A ORIGEM DOS CICLOS ..... | 186 |

### **11. BACIA DE SANTOS (POÇO SA- 1)..... 196**

|  |     |
|--|-----|
| 11.1 CARACTERIZAÇÃO FACIOLÓGICA .....                        | 200 |
| 11.2 DADOS GEOQUÍMICOS E PALEONTOLÓGICOS DO TESTEMUNHO ..... | 206 |
| 11.3 BIOESTRATIGRAFIA .....                                  | 209 |
| 11.4 CICLOESTRATIGRAFIA .....                                | 210 |
| 11.5 A ORIGEM DOS CICLOS .....                               | 221 |

## **PARTE IV - CICLOESTRATIGRAFIA DE DEPÓSITOS CARBONÁTICOS. .... 223**

### **12. BACIA DE SERGIPE ..... 223**

|   |     |
|---|-----|
| 12.1 ÁR A ESTUDADA .....  | 226 |
| 12.2 APRESENTAÇÃO DOS DADOS.....  | 226 |
| 12.3 BIOESTRATIGRAFIA .....   | 228 |
| 12.4 CARACTERIZAÇÃO FACIOLÓGICA .....                                     | 230 |
| 12.5 CICLOESTRATIGRAFIA .....   | 232 |
| 12.5.1 Estudo de ciclicidade nos perfis dos poços .....                   | 237 |
| 12.5.2 Análise espectral nos testemunhos do poço SE-1 .....               | 248 |
| 12.5.3 Estudo de ciclicidade nas pedreiras Votorantim e Rita Cacete ..... | 248 |
| 12.6 ORIGEM DOS CICLOS .....  | 253 |

|   |            |
|---|------------|
| 12.7 O EVENTO DISÓXICO-ANÓXICO DO CENOMANIANO-TURONIANO E INTERPRETAÇÕES DOS DADOS DE $\delta^{13}\text{C}$ E $\delta^{18}\text{O}$ ..... | 255        |
| <b>PARTE V – INTEGRAÇÃO DOS DADOS E CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>  | <b>261</b> |
| <b>13. O CENOMANIANO SUPERIOR-TURONIANO NO OCEANO ATLÂNTICO SUL .....</b>   | <b>261</b> |
| 13.1 OS EVENTOS EROSIVOS E TRANSGRESSIVOS .....   | 261        |
| 13.2 DISTRIBUIÇÃO PALEOGEOGRÁFICA DAS ROCHAS CARBONÁTICAS E DOS RITMITOS .....  | 270        |
| 13.3 MODELO GENÉRICO PARA A FORMAÇÃO DE SUCESSÕES RÍTMICAS .....  | 274        |
| <b>14. CONCLUSÕES .....</b>   | <b>286</b> |
| <b>15.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>  | <b>292</b> |

## RELAÇÃO DE FIGURA, FOTOS, TABELAS E ANEXOS

### FIGURAS

|   |     |
|---|-----|
| Figura 1.1 – Mapa de localização dos poços e afloramentos estudados.....  | 3   |
| Figura 2.1 – Diagrama ilustrando como a resolução estratigráfica pode auxiliar na melhoria do dimensionamento dos hiatos e taxas de acumulação.....                               | 13  |
| Figura 2.2 – Gráfico comparativo dos resultados da análise espectral de sucessões rítmicas com taxas de acumulação constante e variável .....                                     | 18  |
| Figura 3.1 – Principais feições fisiográficas do Oceano Atlântico Sul .....   | 23  |
| Figura 3.2 – Gráfico do comportamento das curvas de variação relativa do nível do mar, taxa de produção de crosta oceânica e CO <sub>2</sub> e paleotemperatura no Cretáceo ..... | 27  |
| Figura 3.3 – Variações de temperatura e salinidade no Oceano Atlântico .....  | 29  |
| Figura 3.4 – Modelo de paleocirculação oceânica no Atlântico Sul .....  | 31  |
| Figura 3.5 – Foto satélite das variações de produtividade primária nos oceanos e suas relações com as correntes oceânicas .....   | 35  |
| Figura 3.6 – Gráficos e equações utilizadas para estimar a produtividade no Cretáceo .....  | 37  |
| Figura 3.7 – Gráfico comparativo da produtividade atual com a do Cretáceo médio .....   | 38  |
| Figura 4.1 – Processos e depósitos sedimentares de águas profundas .....  | 41  |
| Figura 4.2 – Interação de múltiplos processos deposicionais e as fácies resultantes em ambientes de águas profundas .....   | 42  |
| Figura 4.3 – Caracterização do tipo de argila formada em função da latitude, vegetação, precipitação e evaporação .....   | 46  |
| Figura 4.4 – Sucessões de fácies em turbiditos síltico-argilosos .....  | 48  |
| Figura 5.1 – Variações dos padrões orbitais da Terra .....  | 52  |
| Figura 5.2 – Curvas e periodogramas representativos das variações dos parâmetros orbitais .....   | 52  |
| Figura 5.3 – Mudanças de volume dos depósitos sedimentares em função dos processos de dissolução e de diluição .....  | 57  |
| Figura 6.1 – Média anual das isodeltas de $\delta^{18}\text{O}$ referentes à precipitação pluviométrica .....   | 60  |
| Figura 6.2 – Relação entre a salinidade e o valor isotópico de oxigênio nas águas oceânicas mundiais.....   | 60  |
| Figura 6.3 – Comparação das variações do $\delta^{18}\text{O}$ da dolomita e da calcita em relação às mudanças de temperatura da água.....  | 62  |
| Figura 6.4 – Comparação dos valores de $\delta^{18}\text{O}$ de espécies de cocólitos cultivados.....   | 62  |
| Figura 6.5 – Influência da cimentação nos valores de $\delta^{18}\text{O}$ e de $\delta^{13}\text{C}$ .....   | 65  |
| Figura 6.6 – Ciclo do carbono, quantidades existentes na biosfera, hidrosfera, atmosfera e os valores isotópicos nos diversos ambientes e compostos .....                         | 67  |
| Figura 6.7 – Volume e composição isotópica no carbono do CO <sub>2</sub> liberado durante a degradação da matéria orgânica .....  | 69  |
| Figura 7.1 – Relação entre os fatores 2 e 3 resultantes da análise factorial dos dados geoquímicos e paleontológicos do poço DSDP-364 .....                                       | 80  |
| Figura 7.2 – Resultado da análise fatorial do poço DSDP-364 .....   | 82  |
| Figura 7.3 – Interpretações da análise fatorial do poço DSDP-356 e os modelos de circulação oceânica do Atlântico Sul .....   | 85  |
| Figura 7.4 – Relação entre os fatores 1 e 2 resultantes da análise factorial dos dados geoquímicos e paleontológicos do poço DSDP-511 .....                                       | 88  |
| Figura 7.5 – Correlação dos zoneamento bioestratigráficos (amonoídes, foraminíferos e nanofósseis) .....  | 91  |
| Figura 8.1 – Mapa de localização do poço DSDP-356 .....   | 118 |
| Figura 8.2 – Perfil do índice colorimétrico e principais dados de geoquímica e paleontologia do testemunho #41 do poço DSDP-356 .....   | 120 |
| Figura 8.3 – Perfil do índice colorimétrico e principais dados de geoquímica e paleontologia do testemunho #40 do poço DSDP-356 .....   | 122 |
| Figura 8.4 – Comparação dos resultados bioestratigráficos deste trabalho com o relatório inicial do poço DSDP-356 .....   | 124 |
| Figura 8.5 – Principais resultados da análise cicloestratigráfica realizada no testemunho #41 do poço DSDP-   |     |

|   |     |
|---|-----|
| 356 .....   | 126 |
| Figura 9.1 – Mapa de localização do poço DSDP-364 .....   | 132 |
| Figura 9.2 – Perfil do índice de cor e principais dados de geoquímica e paleontologia do testemunho #25 do poço DSDP-364 .....  | 134 |
| Figura 9.3 – Perfil do índice colorimétrico, principais dados de geoquímica e paleontologia do testemunho #23 do poço DSDP-364 .....  | 136 |
| Figura 9.4 – Perfil do índice colorimétrico e principais dados de geoquímica e paleontologia do testemunho #22 do poço DSDP-364 .....   | 138 |
| Figura 9.5 – Comparação dos resultados bioestratigráficos deste trabalho com o relatório inicial do poço DSDP-364 .....   | 141 |
| Figura 9.6 – Periodograma da análise espectral do testemunho #25 do poço DSDP-364 .....   | 141 |
| Figura 9.7 – Diagrama ilustrando os principais resultados da análise cicloestratigráfica realizada nos testemunhos #22 e #23 do poço DSDP-364 .....                                   | 144 |
| Figura 10.1 – Mapa de localização do poço DSDP-530A .....   | 153 |
| Figura 10.2 – Caracterização das fácies turbidíticas do poço DSDP-530A .....  | 156 |
| Figura 10.3 – Sequências de fácies mais comuns associadas aos folhelhos negros do poço DSDP-530A .....  | 156 |
| Figura 10.4 – Perfil do índice colorimétrico e principais dados de geoquímica e paleontologia do testemunho #102 do poço DSDP-530A .....  | 160 |
| Figura 10.5 – Perfil do índice colorimétrico e principais dados de geoquímica e paleontologia do testemunho #100 do poço DSDP-530A .....  | 162 |
| Figura 10.6 – Perfil do índice colorimétrico e principais dados de geoquímica e paleontologia do testemunho #99 do poço DSDP-530A .....   | 164 |
| Figura 10.7 – Perfil do índice colorimétrico e principais dados de geoquímica e paleontologia do testemunho #98 do poço DSDP-530A .....   | 166 |
| Figura 10.8 – Perfil do índice colorimétrico e principais dados de geoquímica e paleontologia do testemunho #97 do poço DSDP-530A .....   | 168 |
| Figura 10.9 – Perfil do índice colorimétrico e principais dados de geoquímica e paleontologia do testemunho #96 do poço DSDP-530A .....   | 170 |
| Figura 10.10 – Perfil do índice colorimétrico e principais dados de geoquímica e paleontologia do testemunho #95 do poço DSDP-530A .....  | 172 |
| Figura 10.11 – Perfil do índice colorimétrico e principais dados de geoquímica e paleontologia dos testemunhos #87 (seção 1-2), #89 (seção 1) e #93 (seção 2) do poço DSDP-530A ..... | 174 |
| Figura 10.12 – Comparação dos resultados bioestratigráficos deste trabalho com o relatório inicial do poço DSDP-530A .....  | 177 |
| Figura 10.13 – Diagrama ilustrando os principais resultados da análise cicloestratigráfica dos testemunhos #99 e #100 do poço DSDP-530A .....   | 179 |
| Figura 10.14 – Periodogramas das análises espectrais dos testemunhos #97 e #98 do poço DSDP-530A .....  | 181 |
| Figura 10.15 – Principais resultados da análise cicloestratigráfica realizada no testemunho #96 do poço DSDP-530A .....   | 183 |
| Figura 10.16 – Resumo dos resultados da análise cicloestratigráfica do poço DSDP-530A .....   | 185 |
| Figura 10.17 – Detalhe das estruturas sedimentares das fácies associadas aos folhelhos negros do poço DSDP-530A .....   | 187 |
| Figura 10.18 – Comportamento do COT, IH e IO na transição dos argilitos verdes para os folhelhos negros do poço DSDP-530A .....   | 189 |
| Figura 10.19 – Comportamento do COT, IH e $\delta^{13}\text{C}$ nos argilitos verdes e folhelhos negros do poço DSDP-530A .....   | 191 |
| Figura 10.20 – Modelo de deposição dos folhelhos negros do poço DSDP-530A .....   | 194 |
| Figura 11.1 – Mapa de localização do poço SA-1 .....  | 197 |
| Figura 11.2 – Carta estratigráfica da Bacia de Santos .....   | 198 |
| Figura 11.3 – Tratos de sistemas evidenciados na sequência turoniana do poço SA-1 a partir dos perfis geofísicos .....  | 199 |
| Figura 11.4 – Análise ao MEV/EDS da lâmina da profundidade de 3319,2 m do testemunho do poço SA-1 ..  | 205 |
| Figura 11.5 – Dados geoquímicos e paleontológicos do testemunho do poço SA-1 .....  | 207 |
| Figura 11.6 – Subdivisão da sequência turoniana estudada no poço SA-1 em ciclos climáticos nos perfis geofísicos .....  | 211 |
| Figura 11.7 – Análise cicloestratigráfica do ciclo climático A do poço SA-1 .....   | 212 |
| Figura 11.8 – Análise cicloestratigráfica do ciclo climático B do poço SA-1 .....   | 214 |
| Figura 11.9 – Análise cicloestratigráfica do ciclo climático C do poço SA-1 .....   | 215 |

|  |     |
|--|-----|
| Figura 11.10 – Análise cicloestratigráfica do ciclo climático D do poço SA-1 .....   | 217 |
| Figura 11.11 – Análise cicloestratigráfica dos ciclos C e A do poço SA-1 .....   | 218 |
| Figura 11.12 – Análise cicloestratigráfica dos tratos de sistemas de mar alto e transgressivo do poço SA-1 ...   | 219 |
| Figura 12.1 – Mapa de localização do poços e afloramentos estudados na Bacia de Sergipe .....  | 224 |
| Figura 12.2 – Carta estratigráfica da Bacia de Sergipe .....   | 225 |
| Figura 12.3 – Dados geoquímicos e paleontológicos das pedreiras Rita Cacete e Votorantim .....   | 227 |
| Figura 12.4 – Tratos de sistemas da seqüência turoniana do poço SE-1 e unidades progradacionais-<br>retrogradacionais evidenciados nos perfis geofísicos .....   | 238 |
| Figura 12.5 – Análise cicloestratigráfica do intervalo progradacional-retrogradacional A do poço SE-1 .....  | 240 |
| Figura 12.6 – Análise cicloestratigráfica do intervalo progradacional-retrogradacional B do poço SE-1 .....  | 241 |
| Figura 12.7 – Análise cicloestratigráfica do intervalo progradacional-retrogradacional C do poço SE-1 .....  | 243 |
| Figura 12.8 – Análise cicloestratigráfica do intervalo progradacional-retrogradacional D e E do poço SE-1 ..   | 244 |
| Figura 12.9 – Tratos de sistemas da seqüência turoniana do poço SE-2 e unidades progradacionais-<br>retrogradacionais evidenciados a partir dos perfis geofísicos .....                                      | 245 |
| Figura 12.10 – Análise cicloestratigráfica do intervalo progradacional-retrogradacional A e B do poço SE-2.  | 247 |
| Figura 12.11 – Análise cicloestratigráfica do testemunho #9 do poço SE-1 .....   | 249 |
| Figura 12.12 – Resultados das análises geoquímicas da Pedreira Rita Cacete .....   | 251 |
| Figura 12.13 – Resultados das análises geoquímicas da Pedreira Votorantim .....  | 252 |
| Figura 12.14 – Resultados das análises geoquímicas do poço SE-1 .....  | 258 |
| Figura 12.15 – Comportamento do COT e $\delta^{13}\text{C}$ da matéria orgânica em amostras da pedreira Rita Cacete.....   | 260 |
| Figura 13.1 – Localização dos poços do DSDP que amostraram a seção turoniana-cenomaniana e seção<br>estratigráfica esquemática .....   | 262 |
| Figura 13.2 – Diagrama mostrando a posição estratigráfica dos principais hiatos reconhecidos nos poços<br>estudados .....  | 264 |
| Figura 13.3 – Diagrama comparando as colunas litoestratigráficas das bacias da margem continental sul-<br>americana e africana e distribuição paleogeográfica dos principais ritmitos no Atlântico Sul ..... | 266 |
| Figura 13.4 – Correlação bioestratigráfica dos poços estudados nas bacias de Santos e Sergipe .....  | 268 |
| Figura 13.5 – Distribuição das litofácies de águas profundas no Atlântico Sul durante o Santoninao-<br>Campaniano .....  | 271 |
| Figura 13.6 – Modelo de circulação atmosférica de Hadley .....   | 275 |
| Figura 13.7 – Modelo cíclico-climático utilizado para explicar as variações do grau de umidade nos cinturões<br>latitudinais moduladas pelo ciclos de precessão e obliquidade .....                          | 278 |
| Figura 13.8 – Mapa de distribuição das áreas úmidas e secas no Atlântico sul, continentes africanos e sul-<br>americanos no Cretáceo médio-superior .....  | 280 |
| Figura 13.9 – Mapa da distribuição dos depósitos sedimentares continentais indicadores de climas .....   | 282 |
| Figura 13.10 – Modelo de deposição de ritmitos climático-orbitais em rampas carbonáticas .....   | 284 |
| Figura 13.11 – Modelo de deposição de ritmitos climático-orbitais em plataforma/bacia siliciclástica .....   | 285 |

## FOTOS

|  |     |
|--|-----|
| Foto 7.1 – Análise ao MEV da amostra 621 m do poço DSDP-364 .....    | 78  |
| Foto 7.2 – Análise ao MEV da amostra 411,9 m do poço DSDP-511 .....  | 86  |
| Foto 8.1 – Testemunho #41 do poço DSDP-356 .....                     | 119 |
| Foto 8.2 – Testemunho #40 do poço DSDP-356 .....                     | 121 |
| Foto 9.1 – Testemunho #25 do poço DSDP-356 .....                     | 133 |
| Foto 9.2 – Testemunho #23 do poço DSDP-364 .....                     | 135 |
| Foto 9.3 – Testemunho #22 do poço DSDP-364 .....                     | 137 |
| Foto 9.4 – Análise ao MEV da amostra 621 m do poço DSDP-364 .....    | 147 |
| Foto 9.5 – Análise ao MEV da amostra 706,25 m do poço DSDP-364 ..... | 150 |
| Foto 10.1 – Testemunho #102 do poço DSDP-530A .....                  | 159 |
| Foto 10.2 – Testemunho #100 do poço DSDP-530A .....                  | 161 |
| Foto 10.3 – Testemunho #99 do poço DSDP-530A .....                   | 163 |
| Foto 10.4 – Testemunho #98 do poço DSDP-530A .....                   | 165 |
| Foto 10.5 – Testemunho #97 do poço DSDP-530A .....                   | 167 |



|   |     |
|---|-----|
| <b>Foto 10.6</b> – Testemunho #96 do poço DSDP-530A .....   | 169 |
| <b>Foto 10.7</b> – Testemunho #95 do poço DSDP-530A .....   | 171 |
| <b>Foto 10.8</b> – Testemunho #93 do poço DSDP-530A .....   | 173 |
| <b>Foto 10.9</b> – Análise ao MEV da amostra 1073,5 e 1076,5 m do poço DSDP-530A .....  | 192 |
| <b>Foto 11.1</b> – Testemunho do poço SA-1 .....  | 201 |
| <b>Foto 11.2</b> – Detalhe do testemunho e fotomicrografia da litofácies maciça do testemunho do poço SA-1 .....                            | 202 |
| <b>Foto 11.3</b> – Detalhe do testemunho e fotomicrografia da litofácies laminada do testemunho do poço SA-1 ...                            | 203 |
| <b>Foto 12.1</b> – Aspecto geral dos ritmitos da Pedreira Votorantim .....  | 233 |
| <b>Foto 12.2</b> – Aspecto geral dos ritmitos da Pedreira Rita Cacete .....   | 233 |
| <b>Foto 12.3</b> – Detalhe da litofácies laminada do poço SE-1 .....  | 234 |
| <b>Foto 12.4</b> – Detalhe da litofácies laminada do poço SE-2 .....  | 234 |
| <b>Foto 12.5</b> – Detalhe da litofácies maciça do poço SE-1 .....  | 234 |
| <b>Foto 12.6</b> – Detalhe da litofácies transicional maciça-laminada do poço SE-1 .....  | 234 |
| <b>Foto 12.7</b> – Fotomicrografia da litofácies laminada do testemunho do poço SE-1 .....  | 235 |
| <b>Foto 12.8</b> – Fotomicrografia da litofácies laminada do testemunho do poço SE-2 .....  | 235 |
| <b>Foto 12.9</b> – Observação em lâmina delgada da matéria orgânica em luz transmitida e fluorescência (amostra 520,5 m do poço SE-2) ..... | 235 |
| <b>Foto 12.10</b> – Detalhe da litofácies brechada do poço SE-1 .....   | 236 |
| <b>Foto 12.11</b> – Detalhe dos pequenos falhamentos observados nos testemunhos do poço SE-1 .....  | 236 |
| <b>Foto 12.12</b> – Foto ao MEV da amostra #3 da Pedreira Votorantim .....  | 254 |

## TABELAS

|  |     |
|--|-----|
| <b>Tabela 7.1</b> – Distribuição latitudinal das províncias biopaleogeográficas do Cretáceo.....   | 72  |
| <b>Tabela 7.2</b> – Planilha da dados geoquímicos e porcentagem dos gêneros de nanofósseis das amostras dos testemunhos do poço DSDP-364 ..... | 76  |
| <b>Tabela 7.3</b> – Contribuição dos fatores reconhecidos na análise fatorial do poço DSDP-364 .....   | 76  |
| <b>Tabela 7.4</b> – Matriz de carga dos fatores reconhecidos na análise fatorial do poço DSDP-364 .....  | 76  |
| <b>Tabela 7.5</b> – Matriz de correlação entre as variáveis do poço DSDP-364 .....   | 76  |
| <b>Tabela 7.6</b> – Matriz de escores da análise fatorial do poço DSDP-364 .....   | 76  |
| <b>Tabela 7.7</b> – Planilha da dados geoquímicos e porcentagem dos gêneros de nanofósseis das amostras dos testemunhos do poço DSDP-511 ..... | 83  |
| <b>Tabela 7.8</b> – Contribuição dos fator reconhecidos na análise fatorial do poço DSDP-511 .....   | 83  |
| <b>Tabela 7.9</b> – Matriz de carga dos fator reconhecidos na análise fatorial do poço DSDP-511 .....  | 83  |
| <b>Tabela 7.10</b> – Matriz de correlação entre as variáveis do poço DSDP-511 .....  | 83  |
| <b>Tabela 7.11</b> – Matriz de escores da análise fatorial do poço DSDP-511 .....  | 83  |
| <b>Tabela 8.1</b> – Resultado da análise espectral do testemunho #41 do poço DSDP-356 .....  | 125 |
| <b>Tabela 9.1</b> – Resultado da análise espectral do testemunho #25 do poço DSDP-364 .....  | 141 |
| <b>Tabela 9.2</b> – Resultado da análise espectral do testemunho #22 do poço DSDP-364 .....  | 142 |
| <b>Tabela 10.1</b> – Resultado da análise espectral do testemunho #100 do poço DSDP-530A .....   | 178 |
| <b>Tabela 10.2</b> – Resultado da análise espectral do testemunho #99 do poço DSDP-530A .....  | 178 |
| <b>Tabela 10.3</b> – Resultado da análise espectral dos testemunho #99 e #100 do poço DSDP-530A .....  | 180 |
| <b>Tabela 10.4</b> – Resultado da análise espectral dos testemunhos #98 e #97 do poço DSDP-530A .....  | 182 |

## ANEXOS

- ANEXO 1 – Resultado das análises bioestratigráficas dos nanofósseis do poço DSDP-511.
- ANEXO 2 – Planilha de dados geoquímicos (COT, IH/IO, carbonato de cálcio) e paleontológicos (diversidade, abundância e análise quantitativa de algumas espécies) do poço DSDP-356.
- ANEXO 3 – Resultado das análises bioestratigráficas dos nanofósseis do poço DSDP-356.
- ANEXO 4 – Planilha de dados geoquímicos (COT, IH/IO, carbonato de cálcio, isotópos de C e O) e paleontológicos (diversidade, abundância e análise quantitativa de algumas espécies) do poço DSDP-364.
- ANEXO 5 – Resultado das análises bioestratigráficas dos nanofósseis do poço DSDP-364.
- ANEXO 6 – Planilha de dados geoquímicos (COT, IH/IO, carbonato de cálcio, isotópos de C e O) e paleontológicos (diversidade, abundância e análise quantitativa de algumas espécies) do poço DSDP-530A.
- ANEXO 7 – Resultado das análises bioestratigráficas dos nanofósseis do poço DSDP-530.
- ANEXO 8 – Planilha de dados geoquímicos (COT, IH/IO, carbonato de cálcio, isotópos de C e O) e paleontológicos (diversidade, abundância e análise quantitativa de algumas espécies) do poço SA-1.
- ANEXO 9 – Resultado das análises bioestratigráficas dos nanofósseis do poço SA-1.
- ANEXO 10 – Resultado das análises bioestratigráficas dos nanofósseis da Pedreira Votorantim.
- ANEXO 11 – Resultado das análises bioestratigráficas dos nanofósseis do poço SE-1.
- ANEXO 12 – Resultado das análises bioestratigráficas dos nanofósseis do poço SE-2.
- ANEXO 13 – Estampas (1-9).

## RESUMO

Os depósitos rítmicos do Cenomaniano e Turoniano, das bacias marginais brasileiras e oceânicas do Atlântico Sul, têm sido pouco estudados sobre o enfoque cicloestratigráfico. Neste trabalho verifica-se a existência de periodicidade climática-orbital nos estratos desta idade e determina-se os principais processos climáticos relacionados à formação das seqüências rítmicas.

Neste sentido, a integração do estudo bioestratigráfico e paleoecológico com ênfase nos nanofósseis calcários e de dados geoquímicos, aliados a uma análise cicloestratigráfica, permitiram quantificar a amplitude temporal de diversas seções marinhas do Cenomaniano superior e Turoniano do Oceano Atlântico Sul, além de propor um modelo genético para a origem dos depósitos rítmicos.

Foram estudados, segundo este propósito, duas bacias na margem continental do Brasil (bacias de Sergipe e Santos) e quatro poços do DSDP posicionados na Bacia de Angola (DSDP-364 e DSDP-530A) e nos platôs de São Paulo (DSDP-356) e das Malvinas (DSDP-511). Com exceção da seção registrada no poço DSDP-511, as demais são caracterizadas por ritmitos constituídos por calciturbiditos finos, turbiditos siltico-argilosos e depósitos hemipelágicos-pelágicos ricos em matéria orgânica, argila ou carbonato. Os atributos paleobiológicos, sedimentológicos e geoquímicos destas rochas variam segundo uma periodicidade correlacionável com os principais ciclos de Milankovitch (excentricidade, obliquidade e precessão) e expressam ciclos de dissolução, diluição, oxi-redução e produtividade primária.

A interpretação bioestratigráfica e cicloestratigráfica tornou possível reconhecer quatro importantes eventos erosivos: neocenomaniano, eoturoniano, meso-neoturoniano e pós-turoniano, responsáveis pela pouca espessura dos andares Cenomaniano e Turoniano no Atlântico Sul. Adicionalmente, foram reconhecidos dois importantes eventos transgressivos, o mais antigo no neocenomaniano-eoturoniano, de caráter global; e o mais novo de idade mesoturoniana, registrado exclusivamente na parte setentrional do Oceano Atlântico Sul. Tais eventos resultam de modificações nos padrões de circulação oceânica induzidas pela separação da porção equatorial da América do Sul do continente africano, e de alterações nas taxas de soerguimento da cadeia meso-oceânica e de espalhamento do fundo oceânico.

A integração do estudo ao microscópio eletrônico e da análise quantitativa dos nanofósseis, dados de isótopos de carbono e oxigênio da fração carbonática, COT e teor de  $\text{CaCO}_3$  realizados em diferentes fácies e contextos deposicionais, permitiu identificar os padrões de comportamento destes parâmetros frente aos ciclos de produtividade, oxi-redução e dissolução.

Os poços DSDP-364 e DSDP-356 apresentam um padrão de sedimentação cíclica com alternância de carbonatos de cor clara e folhelhos escuros. As assembléias oligotáficas de nanofósseis reconhecidas nos carbonatos do poço DSDP-356 resultam da dissolução de espécies menos resistente. A dissolução da fração fina do carbonato foi induzida pela degradação da grande quantidade de matéria orgânica acumulada nos estratos adjacentes. As camadas carbonáticas do poço DSDP-364 possuem uma alta proporção de nanofósseis bem preservados e com alta diversidade, enquanto que as camadas escuras são caracterizadas por teores de carbono orgânico baixo-moderado e carbonato reduzido,  $\delta^{13}\text{C}$  mais positivo e ausência de nanofósseis ou assembléias monoespecíficas destes constituintes. O  $\delta^{13}\text{C}$  mais pesado reflete o enriquecimento de  $^{13}\text{C}$  durante eventos de alta produtividade.

As alterações na taxa de produtividade de carbonato na plataforma, relacionadas a mudanças no influxo continental de sedimentos argilosos e nutrientes, constituem-se no principal mecanismo de controle na formação dos pares de marga/carbonato (Bacia de Sergipe) e folhelhos/margas (Bacia de Santos). A sucessão de folhelhos negros e argilitos depositados no fundo da Bacia de Angola reflete mudanças na produtividade primária e nas condições de oxi-redução controladas pelo influxo continental.

Os depósitos rítmicos do Oceano Atlântico Sul localizam-se ao norte da barreira oceanográfica formada pelas elevações de Rio Grande e Walvis, sendo geneticamente associados à existência de condições oceanográficas e climáticas propícias à geração e preservação de carbonatos e folhelhos negros. A configuração paleogeográfica dos continentes africano e sul-americano moldou um padrão de circulação oceânica que permitiu o estabelecimento de condições de temperatura, nível trófico e balanço de oxigênio (consumo versus suprimento) adequadas à formação de carbonatos e folhelhos negros. Entretanto, o caráter periódico destes depósitos demonstra controle climático, no qual determinadas faixas latitudinais são caracterizadas pela alternância rítmica de fases úmidas e secas moduladas pelos ciclos orbitais. Nos períodos úmidos, a elevação do influxo continental e da produtividade primária propiciaram a formação dos folhelhos negros (Bacias de Angola e

Platô de São Paulo) ou margas nas seções predominantemente carbonáticas (Bacia de Sergipe). Durante a fase seca desenvolveram-se as camadas ricas em carbonato biogênico, seja ele de origem pelágica (bacias de Santos e Angola) ou plataformar (Bacia de Sergipe).

As curvas do  $\delta^{18}\text{O}$  representam variações na intensidade e no volume das correntes oceânicas de águas frias e quentes na região austral do Oceano Atlântico Sul (Platô da Malvinas; DSDP-511) e na parte setentrional deste oceano (bacias de Sergipe e Angola; poços SE-1 e DSDP-364). No Platô das Malvinas durante o mesoturoniano observa-se uma maior influência de águas quentes, provavelmente como reflexo da diminuição da compartimentação do Oceano Atlântico e maior influência das águas oceânicas de origem tetiana. Em contrapartida, existe uma tendência de resfriamento das águas na parte setentrional.

## ABSTRACT

This study verifies the existence of orbital-climatically driven cycles in the Upper Cenomanian - Turonian deposits of the Brazilian margin and oceanic basins of the South Atlantic Ocean. The integration of the biostratigraphic and paleoecological study of calcareous nannofossil and geochemical data, associated with detailed cyclostratigraphic analyses, have made possible to quantify the time span of different marine sections of the South Atlantic Ocean, and to propose a genetic model for the origin of the rhythmic deposits.

Two basins on the continental margin of Brazil (Sergipe and Santos basins) and four DSDP sites (Angola Basin, DSDP-364 and DSDP-530A; São Paulo Plateau, DSDP-356; Malvinas Plateau, DSDP-511) have been investigated. Except for the section registered in well DSDP-511, the others are characterized by rhythmites constituted by fine calciturbidites, silty-argillaceous turbidites, black shales and hemipelagic-pelagic deposits. The paleobiological, sedimentological, and geochemical attributes of these rocks were sensitive to the orbital cycles (eccentricity, obliquity and precession). These orbital variations lead to sedimentary cycles by oscillating the organic primary productivity (productivity cycles), the supply of terrigenous influx (dilution cycles), carbonate dissolution (dissolution cycles) and changes in redox conditions (redox cycles).

The small thickness of the Upper Cenomanian - Turonian in the South Atlantic Ocean is related to four erosive events. These occurred respectively in the late Cenomanian - early Turonian (Biozones UC—5/UC-6), mid-Turonian (Biozones UC-6b and UC-7) and pós-Turonian. In addition, two important transgressive events have been recognized; the global event late Cenomanian - early Turonian (Biozones UC—5c/UC-6a), and a mid-Turonian event (Biozones UC-8), exclusively registered in the northern part of the South Atlantic Ocean. Such events resulted from modifications in oceanic circulation patterns induced by the break-up of the equatorial portion of South America from Africa, and from changes in the uplift rates of the mid-oceanic ridge and spreading rate of the oceanic bottom.

The integration of the SEM study and quantitative analyses of nannofossils with data on carbon and oxygen isotopes, TOC and CaCO<sub>3</sub> content, performed on different depositional settings and facies, has made it possible to identify the behavior pattern of these parameters in response to productivity, redox and dissolution cycles.

The DSDP-364 and DSDP-356 wells show cyclic sedimentation patterns

involving light nannofossil chalks and dark mudstones. The oligotaxic assemblages of nannofossils recognized in the chalks of the DSDP-356 can be explained as dissolution of non-resistant nannofossil species. The fine carbonate is dissolved due to organic matter degradation from adjacent organic-rich layers. The limestones of DSDP-364 have a higher proportion of well-preserved and high-diversity nannofossil assemblages, whereas the dark layers are characterized by moderate TOC, lower carbonate content, heavier  $\delta^{13}\text{C}$  values and nannofossil absence or nannofossil oligotaxic assemblages. The isotopic carbon shifts toward positive values demonstrate that carbonate was enriched in  $^{13}\text{C}$  during productivity increase.

Oscillation in platform carbonate productivity, related to changes in continental run-off and fluctuations of primary productivity, was the main controlling mechanism on the formation of limestone/marlstone couplets in Sergipe Basin (carbonate dominated system), and black shales/marlstones in Santos Basin (siliciclastic dominated system). The black shales/mudstones sequence deposited in the deeper part of the Angola Basin (DSDP-530A) reflect changes in primary productivity and redox conditions in response to run-off variations.

These rhythmic deposits are primarily located in the South Atlantic Ocean, north of the oceanographic barrier formed by the Rio Grande and Walvis Ridges. The paleogeographic configuration of the African and South-American continents has molded a pattern of oceanic circulation that allowed the establishment of temperature gradients, trophic levels, and oxygen balance (consumption vs. supply) suitable to the formation and preservation of black shales and carbonates. The periodic character of these deposits demonstrates climatic control, where certain latitudinal belts are characterized by the alternance of wet and dry phases modulated by orbital cycles. During wet periods, the rise of the continental inflow and primary productivity favored the formation of black shales (Angola Basin and São Paulo Plateau) or marlstones in predominantly carbonaceous sections (Sergipe Basin). During the dry phase, layers rich in biogenic carbonate developed, either from a pelagic origin (Santos and Angola basins) or from a carbonate platform (Sergipe Basin).

The  $\delta^{18}\text{O}$  curves in the Malvinas Plateau (DSDP-511) and Sergipe and Angola basins (SE-1, DSDP-364) record variations in the intensity and volume of oceanic currents of cold and warm water masses in the South Atlantic Ocean. In the southern (Austral region) a negative  $\delta^{18}\text{O}$  trend suggests a greater influence of warm waters during the mid-Turonian due to the increase of oceanic circulation with mixing of Tethyan water masses. In northern of South Atlantic, the  $\delta^{18}\text{O}$  curve indicates a cooling trend.

## PARTE I - INTRODUÇÃO, METODOLOGIA, CONSIDERAÇÕES TEÓRICAS E OS NANOFÓSSEIS DO CENOMANIANO-TURONIANO

### 1. INTRODUÇÃO

As sucessões sedimentares com aspecto rítmico são feições comuns no registro geológico. Ela refletem mudanças, periódicas ou aperiódicas, nos processos sedimentares e nas características físico-químicas das rochas. Qualquer sistema deposicional pode apresentar ritmitos<sup>1</sup>, independente do contexto deposicional e do intervalo de tempo geológico.

Em particular, as rochas marinhas com aspecto rítmico são comuns no Cenomaniano e Turoniano. Nestes andares, três tipos de depósitos marinhos de águas profundas têm sido associados aos processos cíclicos: sucessões de margas-folhelhos, "folhelhos negros" (rochas com elevado teor de matéria orgânica) e turbiditos síltico-argilosos. Em alguns casos, é possível comprovar que a mudança faciológica destas rochas segue um padrão periódico, ou quase-periódico, controlado por variações climáticas.

Os ciclos orbitais ou ciclos de Milankovitch são variações periódicas da geometria da rota da Terra em torno do Sol e da orientação espacial do eixo de rotação. Tais alterações causam oscilações de até 15% na quantidade de energia solar que incide sobre o planeta, induzindo ao longo do tempo geológico mudanças climáticas que frequentemente são registradas nos depósitos sedimentares. A periodicidade dos ciclos de Milankovitch está entre 11 e 410 mil anos.

O clima controla e interfere nos processos sedimentares, no tipo e no volume dos sedimentos produzidos. Variações climáticas periódicas deixam registros nas rochas desde que inexistam sinais aperiódicos ou estocásticos que obliterem estes sinais. Os hiatos e os processos que causam variações bruscas nas taxas de acumulação (p. ex., tempestades, correntes de turbidez, abalos sísmicos) dificultam a identificação destes sinais. Os paleoambientes marinhos de águas profundas, por apresentarem um número reduzido de hiatos e taxas de acumulação pouco variáveis, são mais propícios à preservação e

---

<sup>1</sup> Rocha formada por processo sedimentar oscilatório. O termo aplica-se a uma sucessão de camadas de características físico-químicas peculiares que repetem-se segundo um padrão rítmico (=cíclico), independente da espessura ou complexidade. O termo não tem conotação temporal quanto a sazonalidade ou periodicidade de deposição dos estratos (Modificado de Bates & Jackson, 1987).



identificação de padrões periódicos. Nas áreas costeiras, os sinais climáticos periódicos raramente são preservados, já que os estocásticos são preponderantes.

Teoricamente é possível estimar a duração temporal das sucessões sedimentares que possuem ciclos climático-orbitais registrados. A utilização conjunta de técnicas bioestratigráficas e cicloestratigráficas<sup>2</sup> permitem estimar a periodicidade destes ciclos, e avaliar a duração temporal das sucessões sedimentares.

Os depósitos rítmicos do Cenomaniano e Turoniano do hemisfério Norte têm sido estudados intensivamente nos últimos anos. Entretanto, os estudos cicloestratigráficos desenvolvidos em depósitos desta idade em bacias do Oceano Atlântico Sul são raros. Neste contexto, os objetivos deste trabalho são:

- a) reconhecer e delimitar as principais seqüências deposicionais marinhas de águas profundas do Atlântico Sul no intervalo Cenomaniano Superior-Turoniano;**
- b) averiguar a existência de periodicidade climática-orbital nestes estratos;**
- c) determinar os principais hiatos deste intervalo e as suas dimensões temporais;**
- d) analisar a interferência do clima nos processos relacionados à formação das seqüências rítmicas pelágicas-hemipelágicas e turbiditos de granulação fina, sejam estas de natureza siliciclástica, carbonática ou enriquecidas em matéria orgânica;**
- e) contribuir para o conhecimento da paleoceanografia do Oceano Atlântico Sul, durante o neocenomaniano e Turoniano.**

Foram utilizados dados sedimentológicos, geoquímicos e paleontológicos de quatro poços do DSDP (*Deep Sea Drilling Project*), três poços da PETROBRAS e duas áreas aflorantes (Fig. 1.1). Os poços do DSDP são representativos de depósitos de águas profundas e abrangem ritmitos formados em diferentes latitudes, margens continentais e contextos deposicionais. Na Bacia de Angola, os testemunhos do poço DSDP-530A recuperaram depósitos turbidíticos finos e rochas pelágicas com alto teor de matéria orgânica, depositados na planície abissal; enquanto que o poço DSDP-364 é caracterizado por rochas pelágicas, com contribuições hemipelágicas, e esporádicas camadas de folhelhos negros depositados no talude externo. Na margem leste do Brasil (Platô de São Paulo), os dados do poço DSDP-356

---

<sup>2</sup> De acordo com Schwarzacher (1993) o termo cicloestratigrafia refere-se especificamente a ciclos que representem intervalos de tempo iguais, significando na prática associá-los a uma origem orbital-climática.

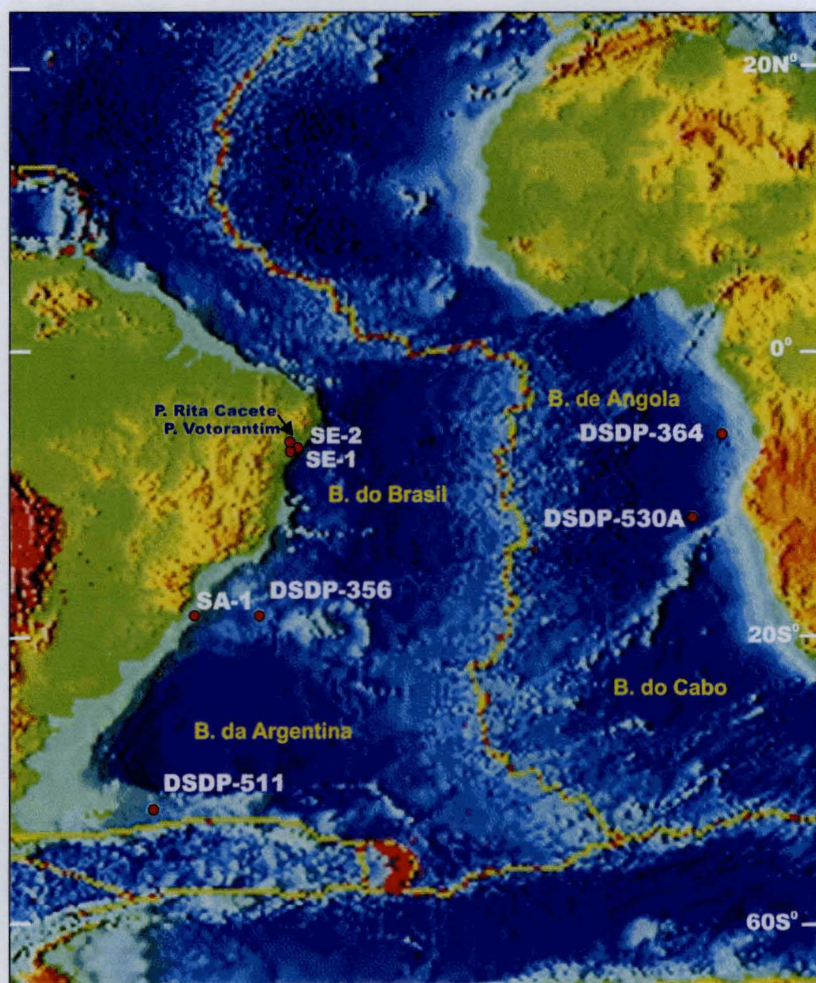


Figura 1.1 - Mapa de localização dos poços e afloramentos estudados. Na margem continental brasileira, os poços SE-1, SE-2 e as pedreiras Rita Cacete e Votorantim localizam-se na Bacia de Sergipe; o poço SA-1 situa-se na Bacia de Santos.

assemelham-se ao DSDP-364 em termos sedimentológicos e paleoambientais. No Platô das Malvinas, o poço DSDP-511 difere dos demais pelos depósitos pelágicos e hemipelágicos sem aspecto rítmico e pela ausência de folhelhos negros.

Para complementar os estudos foram selecionadas duas áreas na margem continental brasileira: a Bacia de Santos e a Bacia de Sergipe. O poço SA-1 (Bacia de Santos) possui estratos turonianos síltico-argilosos, com espessura significativa, depositados em um paleoambiente nerítico externo-batial. A seção turoniana da Bacia de Sergipe é bem estudada sob vários aspectos, mas pouco conhecida no que se refere à cicloestratigrafia. A sucessão de margas e carbonatos apresenta características adequadas ao estudo de ciclicidade. A ausência de dados na plataforma continental africana foi compensada por dados bibliográficos, embora estes não substituam eficientemente as informações geológicas provenientes da análise direta das rochas.

## 2. METODOLOGIA

Foram utilizados dados bioestratigráficos e paleoecológicos (nanofósseis, foraminíferos e palinórfos), geoquímicos (teores de carbono orgânico e carbonato de cálcio, isótopos estáveis de carbono e oxigênio), descrições faciográficas e perfis geofísicos.

Para cada uma das seções estudadas foram seguidas as seguintes etapas: a) descrição e avaliação preliminar dos dados geoquímicos e sedimentológicos; b) análise bioestratigráfica; c) análise espectral dos perfis geofísicos e das curvas que representam as variações de cores dos testemunhos (índice colorimétrico); d) determinação da amplitude temporal do intervalo Cenomaniano-Turoniano; e) interpretação integrada dos dados faciográficos, geoquímicos e paleoecológicos para a determinação da origem dos ciclos.

### 2.1 DADOS BIOESTRATIGRÁFICOS E PALEOECOLÓGICOS

O principal método bioestratigráfico utilizado foi o de nanofósseis calcários. Os estudos foram realizados em um microscópio ótico-petrográfico (Zeiss), dotado de uma objetiva de 100X e uma ocular de 12,5X. As lâminas foram preparadas segundo método descrito em Antunes (1998), sendo realizadas análises quantitativas e qualitativas. Nas análises quantitativas foram discriminados 300 espécimes ou 100 campos de visão por lâmina, o que fosse atingido primeiro. Esta metodologia é uma adaptação do método usado por Mutterlose (1987), que ao invés de contar 100 campos de visão quantificou 200 campos. Na maioria dos estudos quantitativos de nanofósseis são contados de 300 a 500 exemplares por lâmina, sendo que a principal diferença entre eles é o tratamento diferenciado dado às lâminas muito pobres, ou enriquecidas em uma determinada espécie. Oliveira (1997) realizou um estudo comparativo, testando estatisticamente o número ideal de exemplares a serem contados em cada lâmina. O autor concluiu que a contagem de 300 espécimes produz uma estimativa estatisticamente consistente do conteúdo fossilífero. A contagem de um número maior de espécimes não promove um aumento substancial na qualidade das informações obtidas.

As amostras utilizadas para as análises do conteúdo nanofossilífero das pedreiras foram coletadas entre 20-50 cm de espaçamento. Nos testemunhos do DSDP e na Bacia de Santos a coleta foi espaçada por 20 cm. Nos testemunhos da Bacia de Sergipe, devido ao

conteúdo fossilífero muito pobre, foram feitas somente análises qualitativas. Procedimento similar foi feito para as amostras de calha dos poços das bacias de Sergipe e Santos, uma vez que essas são pouco adequadas às análises quantitativas.

Enquanto as análises qualitativas permitem somente a datação das amostras, a avaliação da diversidade e da abundância dos nanofósseis fornecem informações acerca da paleoecologia e do grau de dissolução. Como método auxiliar para avaliar a preservação das amostras (grau de dissolução e recristalização), utilizou-se a microscopia eletrônica de varredura (MEV). As amostras selecionadas não sofreram nenhum tipo de tratamento especial. Uma pequena parte das amostras foi dissolvida sobre a lamínula, metalizada e observada ao MEV (modelo ZEISS - DSM 540A). Somente as amostras da Pedreira Votorantin foram centrifugadas para uma melhor seleção da fração granulométrica.

A diversidade e a abundância dos nanofósseis foram quantificadas por meio de dois índices: número médio de espécimes por campo de visão e índice de Shannon-Weaver.

O número médio de espécimes por campo foi obtido por meio da divisão do número de espécimes contados pelo número de campos de visão investigados. Este índice reflete a abundância relativa dos nanofósseis na lâmina.

O índice de Shannon-Weaver permite avaliar a diversidade e abundância de assembléias fossilíferas (Watkins, 1989; Windley, 1995; Holbourn *et al.*, 1999), sendo obtido através da seguinte equação:

$$H(s) = \sum P_i \ln P_i$$

S=número de espécies  
P<sub>i</sub>=proporção de cada espécie

Os resultados desta equação variam entre 0,2 e 3. Os valores em torno de 2,5 indicam assembléias com boa diversidade e abundância, enquanto que os valores menores que 1,5 sugerem redução drástica de diversidade e abundância. Este índice normalmente é coerente com o número de espécimes por campo, porém ambos são independentes. Uma das principais vantagens do índice Shannon-Weaver sobre a contagem simples do número de espécies, que também fornece uma medida de diversidade, é que este índice leva em conta o número de indivíduos de cada espécie (Margalef, 1995). Na prática, isto significa que a contagem simples do número de espécies indicaria uma mesma diversidade para uma amostra com 30 espécies, cada uma constituída por um indivíduo, e outra amostra com 30 espécies que possui 10 indivíduos cada. Já o índice de Shannon-Weaver seria mais elevado para aquela caracterizada por um número maior de indivíduos por espécie.



Aos dados de nanofósseis foram acrescentadas informações referentes ao estudo de foraminíferos feitos tanto em lâminas petrográficas como em lupa binocular. Maiores detalhes sobre as técnicas de preparação e estudo destes fósseis pode ser obtido em Koutsoukos (1989). Foram considerados, também, os dados palinológicos publicados ou existentes em relatórios internos da PETROBRAS, apenas com a finalidade de auxiliar as datações e nas inferências paleoecológicas.

## 2.2 DADOS GEOQUÍMICOS

Nas amostras analisadas para nanofósseis foram feitas análises geoquímicas (porcentagem de carbono orgânico, teor de carbonato,  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{18}\text{O}$  da fração carbonática em rocha total e da matéria orgânica). Nas amostras com COT (porcentagem de carbono orgânico total) mais elevado foram realizadas pirólise e calculados os índices de hidrogênio (IH) e oxigênio (IO). As amostras da Bacia de Santos com COT elevado foram selecionadas para a obtenção de  $\delta^{13}\text{C}$  da matéria orgânica (MO). Tendo em vista o pequeno volume das amostras cedidas pelo DSDP não foi possível fazer análises de  $\delta^{13}\text{C}$  nos extratos orgânicos das mesmas. Pelo mesmo motivo não foram medidos os valores de  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{18}\text{O}$  na fração carbonática das amostras do poço DSDP-356.

As medidas de concentração da MO, pirólise (Rock-Eval) e da razão isotópica do carbono da matéria orgânica são importantes indicadores do tipo e grau de preservação da MO. Estes métodos têm sido utilizados em conjunto e oferecem informações importantes sobre a quantidade de oxigênio no paleoambiente, principalmente se houver um controle do tipo de MO por petrografia orgânica. Por esta razão foram feitas investigações petrográficas em algumas amostras da Bacia de Sergipe. No caso da Bacia de Santos foram utilizadas as análises petrográficas da MO dos trabalhos de Arai (1987 e 1988).

Segundo vários autores (Demailson & Moore, 1980; Dean *et al.*, 1986; Arthur *et al.*, 1986; Arthur & Sageman, 1994) rochas com valores de pelo menos 1% de COT são classificadas como folhelhos negros. Neste trabalho, este termo será utilizado em um senso um pouco mais amplo, designando rochas com teores de COT relativamente elevados, sem necessariamente fixar-se em um valor exato.

O valores de COT foram obtidos por meio da análise de 0,25 g de rocha pulverizada, isenta de carbonato, num analisador modelo LECO CS 444. Esse aparelho mede a quantidade de CO<sub>2</sub> liberada durante a combustão, transformando esta medida em porcentagem de carbono orgânico por peso de amostra.

A técnica de pirólise, amplamente utilizada na determinação do tipo de MO, começou a ser desenvolvida no fim da década 60. Contudo, somente dez anos depois, com o aprimoramento tecnológico dos equipamentos de medição (Rock-evaluation I, desenvolvido pelo Instituto Francês de Petróleo em 1977; Espitalié *et. al.*, 1977), este método passou a ser usado rotineiramente. O princípio deste método consiste na detecção seletiva e na análise quantitativa dos componentes orgânicos ricos em O e H, liberados durante o aquecimento contínuo e programado da MO em uma atmosfera inerte. Posteriormente, são calculados os índices de hidrogênio (IH) e o índice de oxigênio (IO)<sup>3</sup>. Normalmente, aceita-se que valores de IH inferiores a 150mg HC/g C<sub>org</sub> estejam relacionados tanto à matéria orgânica de origem terrestre (vegetais superiores), como à MO de origem planctônica oxidada. Já os valores superiores a 600mg HC/g C<sub>org</sub> são interpretados como associados à MO de origem algálica bem preservada. Os termos intermediários resultam da mistura de MO de origem terrestre e marinha, com diferentes graus de preservação. Intervalos ricos em MO (COT > 2 % ) com uma alta proporção de MO marinha autóctone, rica em lipídios, apresentam valores de IH alto e de IO baixo, definindo, deste modo, uma relação direta entre os valores de COT e IH. Por outro lado, valores elevados de IO, com IH baixo, sugerem uma origem continental ou húmica para a MO (Dean, *et al.*, 1986 e Arthur & Sageman, 1994).

O teor de carbonato de cálcio foi estimado a partir do resíduo insolúvel e por meio da calcimetria. A análise da porcentagem de carbonato a partir do resíduo insolúvel (RI) é obtida por meio da pesagem da amostra antes e depois da eliminação do carbonato durante o processo de obtenção do COT. Devido à pequena quantidade de amostra usada neste procedimento, esta estimativa somente é confiável para amostras com teores de carbonato superiores a 30%. Mesmo nestes casos, o valor estimado é cerca de 10% maior que o obtido pela calcimetria. A calcimetria seguiu dois procedimentos distintos, cujo princípio básico é o mesmo: medição da pressão de CO<sub>2</sub> liberada durante a acidificação (HCl a 10% de concentração) de uma grama de rocha pulverizada. O primeiro procedimento consiste em

<sup>3</sup> IH (índice de hidrogênio ou potencial gerador da rocha) resulta da divisão do valor do pico denominado de S<sub>2</sub> na pirólise pelo COT multiplicado por 100. IO é igual à quantidade de CO<sub>2</sub> liberado, sendo obtido pela divisão do valor do pico S<sub>3</sub> da pirólise pelo valor do COT multiplicado por 100.

medir a pressão de CO<sub>2</sub> em calcímetro denominado de *calcímetro Fann*, que utiliza um detector eletrônico. O segundo, mede a pressão de CO<sub>2</sub> utilizando uma coluna de vidro preenchida com uma solução de água e CaCO<sub>3</sub>. Estas duas técnicas permitem uma precisão da ordem de 1-5%. Nos dois processos os valores obtidos são transformados em porcentagem de carbonato contido na amostra. Nas planilhas de dados foram discriminados os métodos aplicados na obtenção do teor de carbonato. Os procedimentos analíticos empregados na calcimetria estão detalhados em Rodrigues (1996).

As análises de isótopos de carbono e oxigênio, foram feitos principalmente com o intuito de estimar a paleotemperatura e a paleoprodutividade. O método analítico consiste em obter CO<sub>2</sub> a partir do ataque dos carbonatos por ácido fosfórico, e medir as razões isotópicas do oxigênio e do carbono deste gás utilizando um espectrômetro de massa (Finnigan Mat, modelo 252). Os resultados são expressos em parte por mil (‰) e são comparativos ao padrão internacional PDB (belemnite da Formação Peedee, Cretáceo Superior da Carolina do Sul, Estados Unidos):

$$\text{Valor isotópico} = \frac{RA - RP}{RP} \times 1000,$$

Onde:  
 RA = razão isotópica da amostra (<sup>13</sup>C/<sup>12</sup>C ou <sup>18</sup>O/<sup>16</sup>O)  
 RP = razão isotópica do padrão.

A razão isotópica do carbono nos extratos orgânicos teve como objetivo determinar a origem da MO e as variações de produtividade. O método analítico consiste em obter CO<sub>2</sub> promovendo a combustão da MO em presença de oxigênio, sendo a razão isotópica do carbono medida neste gás através de um espectrômetro de massa (Finnigan Mat, modelo 252).

### 2.3 TESTEMUNHOS DO DSDP

Os testemunhos do DSDP, com recuperação de 100 %, possuem cerca de 9,5 m e são subdivididos em 6 seções de 1,5 m; podendo haver uma sétima seção, denominada de *core catcher*. As amostras são identificadas por 3 conjuntos de algarismos, representando, respectivamente, o número do testemunho, a seção e o intervalo de coleta dentro da seção, medido do topo para a base. Por exemplo, uma amostra identificada por 40-3-21-20, significa que foi coletada no testemunho #40, entre 21 e 22 cm a partir do topo da seção 3. A identificação completa pode incluir a perna (*leg*) e o número do poço; no caso de haver



mais de um poço no mesmo local estes são distingüidos por letras (p.ex., "75-530A-101-105-106 cm"). Quando identificada somente pela profundidade, esta refere-se ao fundo oceânico.

Visando homogeneizar a nomenclatura de cores com os relatórios do DSDP, utilizou-se a tabela de cor *rock-color chart* (Goddard *et al.*, 1984). De um modo geral, nota-se que as cores das amostras são similares às descritas no relatório inicial, porém mais claras.

A determinação do teor de carbonato é obtida medindo a pressão de CO<sub>2</sub> liberada durante a acidificação da amostras em um manômetro, sendo a pressão aferida convertida em porcentagem de CaCO<sub>3</sub> (bomba de carbonato). O C<sub>org</sub> é medido em um analisador *Hewlett-Packard CHN* e expressa em porcentagem por peso de rocha seca. Portanto, as técnicas utilizados nos laboratórios do CENPES-PETROBRAS e do DSDP são muito similares.

A avaliação da composição e textura é obtida por meio da desagregação da rocha e confecção de uma lâmina (*smear section*), sendo as quantidades dos constituintes estimadas visualmente e expressa em porcentagem. Desta forma são discriminadas as porcentagens de areia, silte e argila, e a composição de cada uma destas frações, que podem ser constituídas de foraminíferos, nanofósseis, argilas, quartzo, feldspato, pirita e carbonato. Logicamente que alguns constituintes ocorrem somente em determinadas granulometrias. Por exemplo, argilo-minerais e nanofósseis são exclusivamente do tamanho argila.

A classificação das rochas adotada nos poços DSDP-511 e DSDP-530A seguem a premissa que estas rochas são compostas por componentes não biogênicos, biogênicos calcários e biogênicos silicosos. Os termos vaza (*ooze*), greda (*chalk*) ou calcário (*limestone*) referem-se a rochas calcárias biogênicas com mais de 70% de CaCO<sub>3</sub>, e progressivamente mais litificadas deste a vaza até o calcário. As rochas com CaCO<sub>3</sub> entre 30 e 70% são denominadas de margas. As rochas argilosas com menos de 30% de CaCO<sub>3</sub> são denominadas de lamitos (*mudstones*) e possuem quantidades variáveis de silte. O termo argilito (*claystone*) possui uma conotação textural, e sugere dominância absoluta da fração argila. Lamitos, margas e carbonatos biogênicos podem ser adjetivados por nanofósseis ou foraminíferos, em função do principal constituinte carbonático.

Na classificação usada nos poços DSDP-356 e DSDP-364, as rochas terrígenas denominadas de argilito, lamito ou silito são adjetivadas com o termo "calcário" caso contenham de 10 a 30% de CaCO<sub>3</sub>. Acima deste teor, até o limite de 60-70%, as rochas são classificadas como carbonatos (vazas, chalk ou calcários dependendo do grau de litificação), sendo adjetivados com o principal constituinte (foraminífero ou nanofósseis, por exemplo)

seguido do termo “margoso” (*marly*). Acima de 60-70% passam a ser denominados de calcários pelágicos.

## 2.4 TRATAMENTO MATEMÁTICO DOS DADOS

Dois tipos de tratamentos matemáticos foram feitos utilizando o programa de computador *Statistica* (versão 5.1): análise espectral e análise fatorial. A análise espectral teve como objetivo detectar a presença de padrões periódicos nas séries temporais elaboradas com os dados de perfis geofísicos ou curvas do índice colorimétrico dos testemunhos. O segundo método, análise fatorial, foi aplicada nos dados geoquímicos e nas análises quantitativas dos nanofósseis calcários dos poços DSDP-364 e DSDP-511, tendo como objetivo associar o comportamento paleoecológico deste grupo fitoplancctônico fóssil, com as variações ambientais assinaladas por mudanças nos parâmetros geoquímicos.

### 2.4.1 Análise Espectral

A análise espectral agrupa vários métodos que objetivam verifica a existência de periodicidade em um conjunto de dados, coletados a tempos ou distancias iguais, denominado de série temporal. Em estudos geológicos podem ser citados como exemplos de séries temporais os valores numéricos dos perfis geofísicos, dados geoquímicos, resultados de análises bioestratigráficas quantitativas e valores numéricos representativos da variação de cor dos testemunhos. Pelo menos três métodos, dentre os diversos existentes, têm sido amplamente utilizados em estudos cicloestratigráficos (Williams, 1989; Sprenger & Ten Kate, 1993; Sageman *et al.*, 1997): Transformada rápida de Fourier ou análise de harmônicos (*Fast Fourier Transform-FFT*; *Harmonics-HA*); Método Blackman-Tukey (*Blackman-Tukey method-BTM*); Método de máxima de entropia (*maximum-entropy method-MEM*).

A transformada rápida de Fourier, método analítico utilizado neste trabalho, parte do princípio que os padrões cíclicos de uma série temporal podem ser expressos por um somatório de funções cosenoidais ( $\Sigma Y$ ), sendo cada função ( $K$ ) definida por uma amplitude

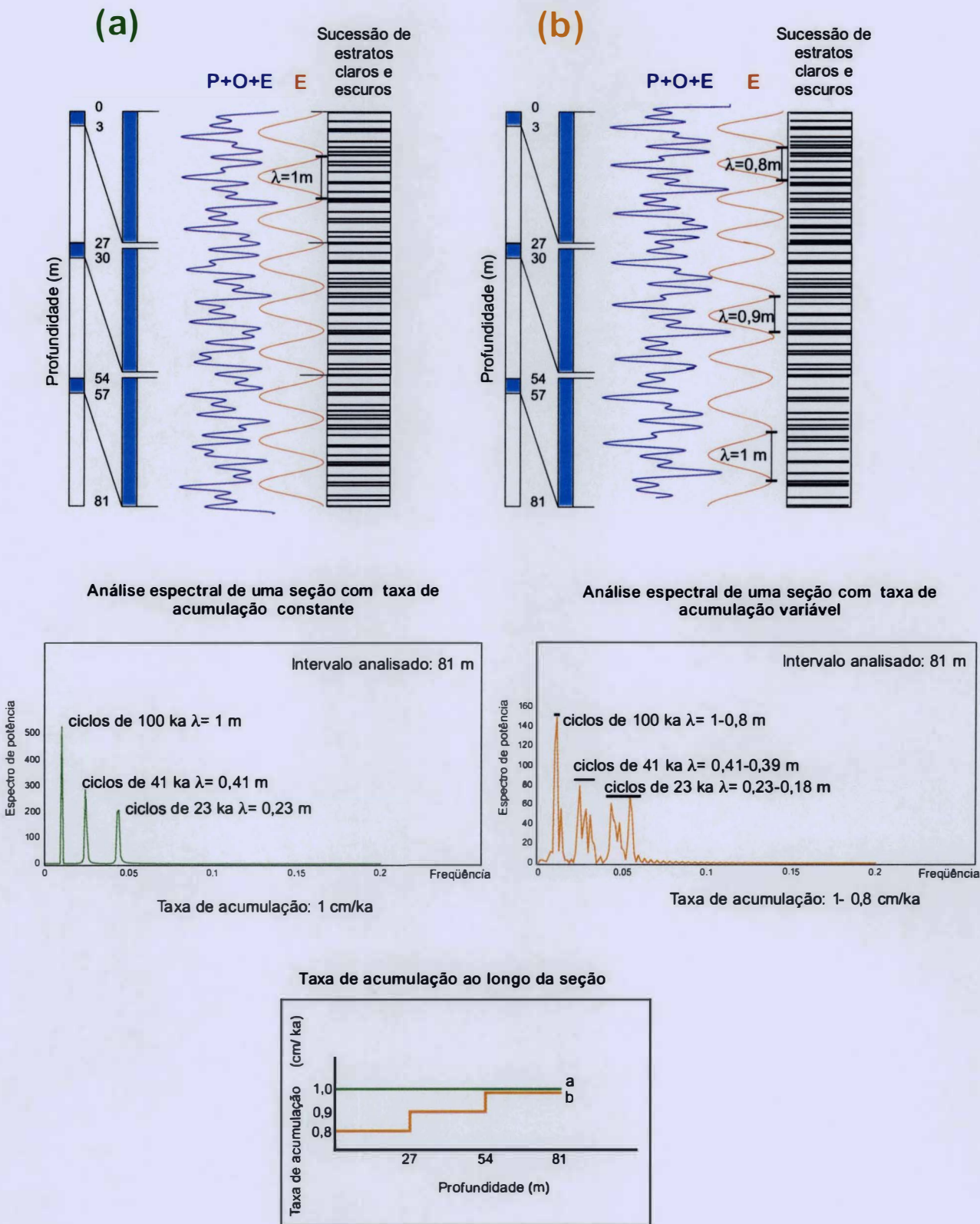
(A), frequência<sup>4</sup> ( $\theta$ ) e fase ( $\phi$ ):  $\Sigma Y_k = A_k \cos (k\theta - \phi_k)$ . Estas funções cosenoidais são estatisticamente independentes, e a sua importância relativa dentro da série temporal pode ser expressa por sua variância<sup>5</sup>. Os resultados das análises espectrais são expressos em um gráfico onde no eixo das abscissas encontram-se as frequências analisadas e no eixo das coordenadas a potência espectral, que é uma função da variância da frequência analisada.

A escolha do método FFT em detrimento dos outros, deve-se à maior simplicidade e rapidez. As demais técnicas são mais sofisticadas e implicam em procedimentos matemáticos mais complexos, sendo que os resultados obtidos não diferem substancialmente, apenas promovem um refinamento dos resultados provenientes da FFT (Sageman *et al.*, 1997 e Weedon, 1991).

O método FFT calcula a potência espectral das frequências discretas múltiplas do número de elementos da série temporal, também denominadas de harmônicos. O número máximo de frequências analisadas é a metade do número de elementos da série temporal. Por exemplo, em uma série temporal de 100 elementos, somente as 50 frequências compreendidas entre 0,01 e 0,50 terão a sua variância calculada. Considerando que a frequência é o inverso do período, os primeiros harmônicos guardam uma distância entre si maiores que os últimos. No exemplo citado acima, os ciclos de períodos mais longos teriam comprimento de onda ( $\lambda$ ) de 100( $f=0,01$ ), 50( $f=0,02$ ) e 33( $f=0,03$ ); e os mais curtos de 2,08( $f=0,48$ ), 2,04( $f=0,49$ ) e 2,00( $f=0,50$ ). Esta característica da FFT pode ser particularmente problemática em situações onde a variação na taxa de acumulação é acentuada ou em série temporais pequenas. A figura 2.1 ilustra o comportamento dos periodogramas frente às variações na taxa de acumulação. Nesta figura observam-se dois periodogramas correspondentes à análise espectral de duas sucessões hipotéticas de 81 metros que mostram um padrão de ciclicidade de estratos claros alternados com escuros (a e b). Estes estratos seguem a periodicidade de 23, 41 e 100 ka. A

<sup>4</sup> Na física, o período é definido como o tempo necessário para que uma partícula em movimento ondulatório percorra uma distância equivalente a um comprimento de onda ( $\lambda$ ), que é a distância entre duas posições similares e sucessivas ao longo do movimento oscilatório. A frequência, sendo o inverso do período, expressa o número de ciclos que ocorrem em uma unidade de tempo. Os termos período e frequência, quando utilizados em cicloestratigrafia, podem ter um significado um pouco diferente. Neste trabalho, o período expressa o número de elementos da série temporal que compõem um ciclo. Isto significa dizer que um ciclo com 10 elementos, tem um período de 10 e a uma frequência de 0,1, sendo ambos adimensionais. O comprimento de onda do ciclo é expresso em metros ou centímetros.

<sup>5</sup> O comportamento de uma série de números pode ser descrita em termos matemáticos utilizando-se medidas de tendência e dispersão tais como a média, o desvio padrão, a variância e o coeficiente de variância. Particularmente, a análise de variância permite estimar a variabilidade de um conjunto de dados associado a diferentes fontes de variação, e compará-lo com outro conjunto de dados (Landim, 1997).



linha senoidal vermelha representa o ciclo de excentricidade (100 ka), e a azul o somatório das três funções que definem os ciclos de precessão (21 ka), obliquidade (41 ka) e excentricidade curta (100 ka). Na primeira seção (a) a taxa de acumulação é de 1 cm/ka, constante ao longo de toda a seção, o que resulta em três ciclos bem definidos no periodograma (a). No segundo caso, a taxa inicia com 1 cm/ka (54-81 m), passa para 0,9 (54-27 m) e atinge 0,8 cm/ka (27-0 m). No periodograma o comprimento de onda do ciclo de excentricidade encontra-se bem definido, ainda que a variância maior esteja dividida em duas frequências (dois “picos” que correspondem a  $\lambda=0,8$  m e 1 m). Os outros dois ciclos (41 e 23 ka) são representados por vários “picos”. Como os harmônicos estão muito próximos a variância é distribuída em um número maior de frequências, o que resulta em uma faixa de frequência de valores espectrais elevados. Nesta situação torna-se difícil individualizar o comprimento dos ciclos, sendo estes definidos por um valor médio.

A separação das frequências representativas dos ciclos significativos daquelas que devem ser consideradas espúrias, ou seja, frequências que representam variações aleatórias e que por algum erro metodológico aparecem em destaque no periodograma, eventualmente seguem critérios subjetivos. Os testes estatísticos disponíveis para verificar se a variância atribuída a uma determinada frequência permite, dentro de um determinado nível de significância<sup>6</sup>, aceitá-la como indicativa de um ciclo relevante, não apresentam bons resultados em estudos cicloestratigráficos. Estes testes avaliam o significado estatístico das frequências utilizando como referência apenas uma ou duas das frequências com variância mais elevada. Como os ciclos geológicos são representados nos periodogramas por grupos constituídos por diversas frequências, os testes estatísticos com um nível de significância em torno de 5-10 % ( $\alpha=0,05-0,1$ ) não conseguem isolar as frequências espúrias das significativas (Swan & Sandilands, 1995). Mesmo considerando a subjetividade na seleção das frequências, alguns critérios são importantes: a) A frequência correspondente ao ciclo de comprimento de onda de mesma medida do intervalo completo da série temporal deve ser desconsiderada, mesmo que esta esteja em destaque; os ciclos considerados significativos devem ter o comprimento de onda sempre menor que o comprimento total da série temporal. b) O tamanho da série temporal deve ser compatível com a dimensão dos ciclos pesquisados; séries temporais muito longas são inadequadas para a individualização de ciclos de frequência muito

<sup>6</sup> Probabilidade que se tem de, no julgamento de uma hipótese estatística, cometer o erro de rejeitá-la sendo ela verdadeira.

elevada devido à proximidade dos valores dos harmônicos menores e a conseqüente dispersão das variâncias mais elevadas (Fig. 2.1).

Neste estudo foram feitas análises espectrais nos dados numéricos dos perfis geofísicos de raios gama (RG) e sônico (DT) e na curva que representam as variações de cores dos testemunhos denominada de índice colorimétrico. Atualmente, existe um grande número de estudos cicloestratigráficos realizados em perfis geofísicos e em curvas que representam as variações de cores, comprovando a eficiência destas técnicas (Busch, 1991; Molinie & Ogg, 1992; Sageman *et al.*, 1997; Kuhnt *et al.*, 1997; Prokoph & Agterberg 1999; Yang & Kominz, 1999; Balsam *et al.*, 1999; Castro, 1999; Santos, 1999).

O perfil de raios gama mede a radioatividade natural de alguns elementos químicos (urânio, potássio e tório) existentes nas formações rochosas, sendo eles abundantes principalmente nas argilas e depósitos ricos em MO. Ferramenta similar a esta pode ser também utilizada em testemunhos, obtendo-se o perfil denominado *core-gamma*. A comparação deste perfil com o de raios gama permite aferir a profundidade de coleta de um testemunho, além de fornecer um parâmetro de variação de argilosidade mais adequado à escala métrica do testemunho. O reconhecimento de ciclos na curva de raio gama, quando monitorados por dados litofaciológicos e geoquímicos, podem representar variações no conteúdo de argila e matéria orgânica (MO).

O perfil sônico é um gráfico que representa as variações do tempo de trânsito versus a profundidade. Define-se o tempo de trânsito como o tempo necessário para que uma onda sonora percorra a distância de cerca de 30 cm dentro da formação. As variações de amplitude mais acentuadas neste perfil são produto do grau de compactação das rochas, que aumenta com a profundidade, mas dependem também das características de cada formação. As variações de alta frequência desta curva significam mudanças na litologia, porosidade ou preenchimento com fluídos (Castro, 1999). A análise de ciclicidade foi desenvolvida principalmente sobre a faixa de frequência mais alta, sendo interpretada como produto da variação do conteúdo de carbonato, argila ou MO.

A análise espectral das curvas do índice colorimétrico segue o método descrito em Sageman *et al.* (1997), com algumas adaptações. Segundo este método as oscilações de cores observada nos testemunhos, resultante da alternância de lâminas escuras e claras, podem ser transformadas em uma seqüência numérica. A imagem em tons de cinza do testemunho é escaneada e convertida por meio de um programa de computador em uma matriz numérica.



Esta matriz é composta por números que oscilam de zero, algarismo que representa a cor preta, a 255, valor correspondente à cor branca. Os números intermediários entre o número 1 e o 254 codificam 254 tons de cinza. Esta matriz é simplificada matematicamente em uma matriz com uma única coluna, tornando-se uma série temporal representativa das variações de cor do testemunho. Balsam *et al.*, (1999) comprovam que este método pode ser utilizado para avaliar as variações composicionais da rocha, desde que balizado por análise geoquímicas e físicas (grau de umidade, teor e tipo de argila, quantidade de MO e óxidos de metais).

Nas análises espectrais de séries temporais compostas por dados geológicos parte-se da premissa que a taxa de sedimentação é constante, logo, as amostras coletadas a distâncias constantes são consideradas como coletadas segundo intervalos de tempo constantes. Devido à ausência de um controle eficaz sobre a existência de pequenos hiatos (não deposicionais ou erosivos) e dos efeitos da compactação, uma verificação precisa das oscilações na taxa de sedimentação torna-se quase impossível. Na prática, assume-se que a taxa não varia ao longo do intervalo analisado, e utiliza-se como taxa de sedimentação o valor resultante da divisão da espessura da seção sedimentar pelo tempo na qual se supõe que ela represente. Este cálculo, invés de expressar a taxa de sedimentação, representa na verdade a taxa mínima de acumulação ou simplesmente a taxa de acumulação de sedimentos, uma vez que o valor obtido será sempre inferior a taxa de sedimentação verdadeira.

Para determinar se os ciclos evidenciados nos periodogramas eram compatíveis como os principais ciclos de Milankovitch, ( 19, 23, 41 ou 100 ka) utilizou-se a técnica de similaridade de matrizes (Harbaugh & Merriam, 1968). A aplicação desta técnica em cicloestratigrafia parte da comparação de duas matrizes: a primeira é composta pelas razões dos comprimentos de onda dos principais ciclos assinalados no periodograma e a segunda pelas razões entre os períodos dos ciclos de Milankovitch. Os ciclos da primeira matriz que guardam entre si uma proporção similar às proporções entre os períodos dos ciclos de Milankovitch são diretamente associados a estes. Uma vez atribuída uma duração temporal aos ciclos, esses são contados de modo a obter-se uma estimativa da duração temporal da seção.

Esta técnica tem sido aplicada com sucesso por vários autores na análise de ciclicidade de seções terciárias e cretáceas (Hilgen & Langereis, 1989; Azambuja Filho, 1990; Azevedo *et al.*, 1996; Castro, 1999; Santos, 1999). Entretanto, o sucesso desta técnica depende do reconhecimento dos hiatos e da avaliação das taxas de acumulação. Os hiatos

maiores devem ser isolados e as taxas de acumulação obtidas compatíveis com o ambiente deposicional. Por outro lado, associar as taxas de acumulação e os ambientes deposicionais pode ser uma tarefa problemática. Por exemplo, a deposição de 10 m de sedimentos pelágicos com uma taxa de acumulação de 1 cm/ka leva 1 Ma; por outro lado se esta taxa for de 2 cm/ka esta seção será depositada em 0,5 Ma. Neste exemplo, as duas taxas de acumulação, apesar de proporcionalmente muito distintas, são compatíveis com os ambientes pelágicos. Da mesma forma o não reconhecimento de hiatos também pode implicar em um grau elevado de imprecisão na análise cicloestratigráfica. Problemas desta natureza, e suas implicações na avaliação da taxa de acumulação estão ilustrados na figura 2.2. Estes gráficos demonstram que quanto maior a resolução geocronológica, e por consequência melhor o dimensionamento dos hiatos, menor é a taxa de acumulação resultante.

Para atenuar estes tipo de problemas e tornar possível a interpretação de periodogramas onde somente uma frequência encontra-se em destaque, impossibilitando a aplicação da técnica de comparação de matrizes, utilizou-se o dado bioestratigráfico dotado de conotação temporal; isto é, estabeleceu-se um valor geocronológico para a amplitude das biozonas. Deste modo, além da compatibilidade da taxa de acumulação com o ambiente deposicional, também considerou-se importante a coerência com os dados bioestratigráficos.

#### **2.4.2 Análise Fatorial**

A análise multivariada têm como objetivo facilitar a interpretação de um grande número de observações e variáveis agrupando-as segundo padrões de similaridades. Existe um grande número de métodos e procedimentos matemáticos reunidos sob o tópico análise multivariada (análise de agrupamentos; análise dos componente principais; análise fatorial), sendo a escolha do método mais adequado dependente das características do banco de dados e dos objetivos desejados. Uma revisão completa dos principais métodos de análise multivariada aplicados em estudos paleoecológicos e paleogeográficos encontra-se publicada em Shi (1993).

Nos estudos de biogeografia e paleoecologia dos nanofósseis, o método mais utilizado é o de análise fatorial. Este método parte da premissa que matrizes formadas por variáveis de diferentes naturezas e suas respectivas observações podem ser agrupadas segundo



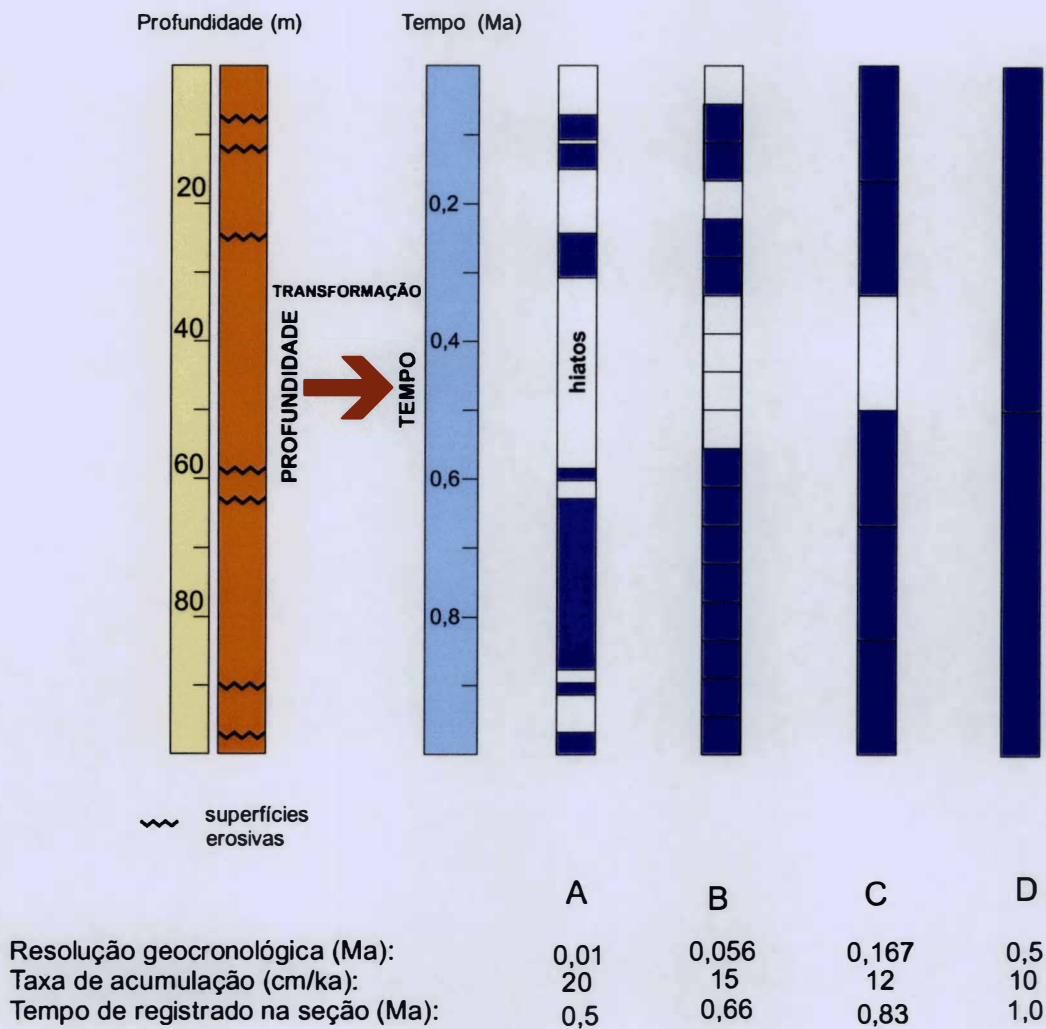


Figura 2.2- O aumento da resolução geocronológica implica em um melhor dimensionamento dos hiatos e maior precisão no cálculo da taxa de acumulação. A coluna A ilustra uma situação onde a resolução geocronológica é extremamente alta, permitindo o reconhecimento de hiatos muito pequenos. Na coluna B, um número menor de hiatos foram reconhecidos, enquanto na C somente o mais expressivo foi definido. A coluna D representa uma situação onde a resolução geocronológica não permite reconhecer nenhum dos hiatos existentes. Observa-se que a taxa de acumulação aumenta na medida que a resolução aumenta (Modificado de Prokoph & Agterberg, 1999).

vetores. Através de sucessivas operações entre matrizes e cálculos de variâncias obtém-se vetores, denominados de fatores, representativos de uma certa parte das variáveis ou das observações relativas a elas. Este procedimento visa associar o maior número possível de elementos da matriz ao menor número possível de fatores, e por isto também é chamado de técnica de redução de fatores. A intensidade da redução dos fatores é expressa na porcentagem de variância que pode ser explicada por um determinado número de fatores. A variância neste caso mede a similaridade entre as variáveis e amostras, sendo que quanto maior for a correlação entre elas maior será a porcentagem de variância explicada por um fator. Dizer que 90% da variância é explicada por um fator, significa dizer que é possível alinhar espacialmente um grande número de observações segundo um vetor. Em contrapartida, quando são necessários uns números de fatores quase iguais ao número de variáveis ou observações para explicar uma porcentagem significativa da variância, conclui-se que praticamente não existe relação entre esses elementos.

A análise fatorial de módulo R procura reconhecer padrões de correlação direta ou inversa entre as variáveis, agrupando-as segundo fatores que representam os parâmetros que controlam estas variáveis. Nos dados dos poços DSDP-511 e DSDP-364 foi aplicado o método de análise fatorial módulo R. Os procedimentos matemáticos adotados são similares aos aplicados por Roth & Krumbach (1986). Inicialmente determinou-se o número mínimo de fatores que poderiam ser extraídos de modo a obter uma porcentagem de variância significativa. A seguir obteve-se o índice de comunalidade, que mostra o significado estatístico de cada variável na análise; considerou-se esse índice como significativo a partir de 0,9. A partir da matriz de dados obteve-se uma matriz rotacionada de fatores de carga (*varimax rotated factor matrix*), ou simplesmente matriz de cargas, que traduz a contribuição de cada variável em cada um dos fatores. Os valores absolutos (positivos ou negativos) mais elevados foram considerados, sendo os demais desprezados. É importante salientar que o sinal positivo ou negativo aponta se a correlação da variável com o fator é direta ou inversa. Adicionalmente, este comportamento foi confirmado por meio de uma matriz de correlação, composta pelos coeficientes de pearson ( $r$ ) referentes ao cruzamento de todas as variáveis duas a duas. Posteriormente, obteve-se a matriz de escores (*factor scores matrix*) que mostra a contribuição individual de cada amostra em cada um dos fatores. A análise em conjunto desta matrizes permitiu estabelecer quais foram as variáveis associadas aos principais fatores. A interpretação dos fatores é feita assumindo-se algumas premissas sobre o comportamento

paleoecológico dos gêneros de nanofósseis e da associação direta de parâmetros geoquímicos com as mudanças ambientais ou paleoecológicas.

### 3. OS ANDARES CENOMANIANO E TURONIANO

O termo Turoniano foi criado por d'Orbigny, (1842, *apud* Bellier, 1971) para designar uma seção de rochas predominantemente carbonáticas aflorantes na região de Tours, na França. Em 1847, este autor denominou de Cenomaniano a parte inferior desta mesma seção. Estas seções continuam sendo usadas como referência para o Turoniano e o Cenomaniano, porém, novos estratos-tipo foram designados no segundo simpósio sobre os andares do Cretáceo, realizado em Setembro de 1995, em Bruxelas. De acordo com Tröger & Kennedy (1996), este simpósio propôs como GBSP (*Global Boundary Stratotype and Point*) para o limite Albiano-Cenomaniano a primeira ocorrência do foraminífero planctônico *Rotalipora globotruncanoides* na seção de Monte Risou, França. Segundo Bengtson (1996) o limite inferior do Turoniano foi definido pela primeira ocorrência do amonóide *Watinoceras devonense* na Camada 86 da seção-tipo de Pueblo nos Estados Unidos, sendo o limite superior caracterizado pela primeira ocorrência do inoceramídeo *Cremnoceramus rotundatus* na pedreira de Salzgitte-Salder, Alemanha.

Devido à importância econômica das rochas ricas em MO concentradas nos andares Cenomaniano-Turoniano, responsáveis pela geração de uma considerável parte do petróleo descoberto no mundo, o desenvolvimento das pesquisas sobre a paleoceanografia destes andares têm sido intensificado nas últimas décadas. O clima, a distribuição paleogeográfica dos continentes, a circulação oceânica e atmosférica e a produtividade dos oceanos vêm sendo objeto de estudos detalhados. Este capítulo tem o objetivo de traçar uma visão panorâmica sobre estes aspectos, enfatizando o neocenomaniano e o Turoniano do Oceano Atlântico Sul.

#### 3.1 PALEOGEOGRAFIA

No início do Mesozóico existia uma única e extensa área emersa formada pela junção dos continentes Laurásia e Gondwana, chamada de Pangéia. A leste deste continente existia um embainhamento oceânico denominado de Mar Tétis. Este progressivamente aumentava em largura à medida que o Pangéia desagregava-se. Durante o Jurássico (Toarciano), a separação entre as áreas correspondentes ao noroeste da África e a América do

Norte deu origem ao Proto-Oceano Atlântico. Mais tarde, durante o meso-cretáceo (Aptiano), a ruptura do continente Africano e Sul Americano originou o Oceano Atlântico Sul. De acordo com Sclater *et al.* (1977), no Cenomaniano, a parte central-meridional do Oceano Atlântico Sul já possuía mais de 200 km de largura, porém ao norte, a largura entre a costa equatorial do Brasil e o noroeste da África permanecia relativamente reduzida, menor que 50 km. Nesta época as principais feições fisiográficas observadas atualmente no Oceano Atlântico Sul (bacias da Argentina, Cabo, Brasil e Angola, cadeia meso-oceânica, elevações de Rio Grande e Walvis, platôs da Malvina e São Paulo, canais de Agulhas e Vema) já se encontravam plenamente delineadas (Fig. 3.1).

Os estudos de subsidência da crosta marinha e da evolução paleobatimétrica sugerem que no Cenomaniano as elevações de Rio Grande e Wavis e o Platô de São Paulo eram áreas muito rasas, oscilando entre partes emersas, ou com profundidades inferiores a 200 metros (Barker, 1983 e Moore *et al.*, 1984). Ao sul, o Platô das Malvinas destacava-se como uma área rasa, porém, permanentemente emersa e cercada por águas profundas (Ludwig, *et al.*, 1983). Estas elevações, a cadeia meso-oceânica e as zonas de fraturas profundas modelavam o padrão de circulação oceânica. Canais profundos, como o canal de Vema e Agulhas, permitiam a circulação das águas de fundo vindas do sul, ainda que em caráter restrito (Zimmerman *et al.*, 1987).

As elevações de Walvis e Rio Grande originaram-se na cadeia meso-oceânica e evoluíram com o próprio espalhamento do fundo oceânico. As datações radiométricas das rochas do embasamento vulcânico destas elevações fornecem idades entre 69 e 85 Ma, sendo estas coerentes com as datações bioestratigráficas das rochas depositadas imediatamente acima do embasamento. Os estudos paleoecológicos, sedimentológicos e a análise das rochas vulcânicas sugerem profundidades muito reduzidas durante o Santoniano-Campaniano sobre estas elevações, sendo provável a existência de áreas imersas. Após o Campaniano, devido à subsidência muito rápida, estas elevações submergiram e atingiram profundidades relativamente grandes antes do final do Cretáceo (Barker, 1983 e Moore, *et al.*, 1984).

Na porção equatorial, antes da ruptura da África e América do Sul, as atuais bacias da Costa do Marfim e Gana encontravam-se contíguas às bacias de Barreirinhas e do Piauí-Ceará. De acordo com os resultados do relatório inicial do ODP (*Ocean Drilling Program*; Mascle *et al.*, 1996), que perfurou quatro poços na parte mais profunda da Bacia da Costa do Marfim e plataforma continental de Gana, a fase *rift* é caracterizada por bacias



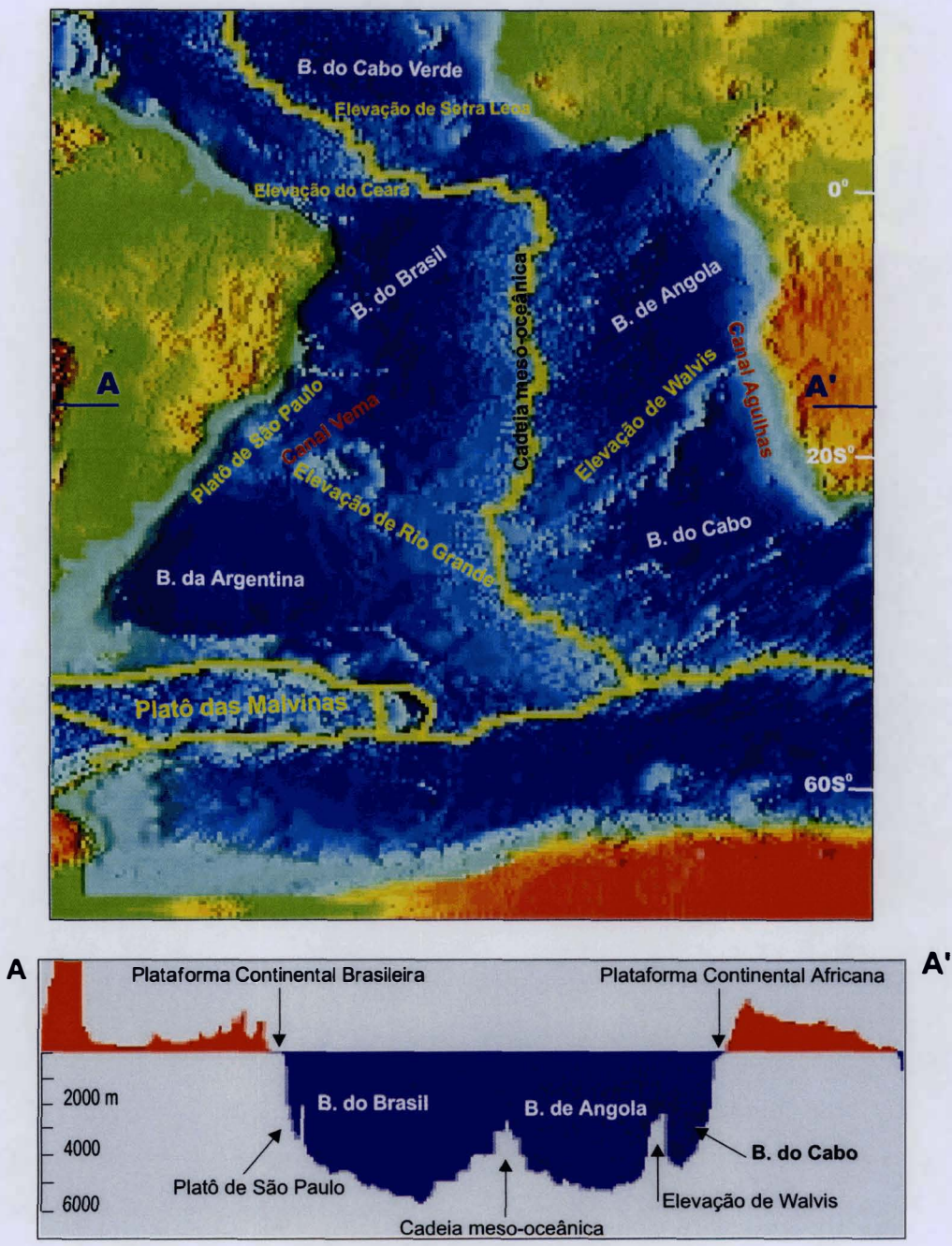


Figura 3.1 - As principais feições fisiográficas existentes no Oceano Atlântico Sul, já existiam no Cenomaniano, porém, com paleobatimetrias reduzidas. Algumas partes das elevações de Rio Grande e Walvis e do Platô de São Paulo eram emersas, ou muito rasas. O perfil A-A' mostra a profundidade atual da lâmina d'água (Modificado de Scholler, 1996).

intracontinentais, preenchidas por sedimentos lacustres, e bacias marinhas, com depósitos pelágicos. Progressivamente, estas bacias evoluíram para bacias oceânicas mais amplas e interconectadas, até que no final do Albiano iniciou-se a formação de uma crosta oceânica contínua entre os dois continentes. Entretanto, os maiores valores de subsidência e das taxas de expansão do fundo oceânico foram atingidos somente no Turoniano.

Segundo Parrish (1993), a África e América do Sul permaneceram conectadas por áreas emersas através das elevações de Rio Grande e Walvis até o Albiano. Para a autora, o tempo exato da ruptura da conexão equatorial ainda é pouco conhecido e, apesar dos dados faunísticos apontarem para uma ruptura completa somente no Turoniano, a maior parte das informações suportam que esta ruptura foi mais antiga (Aptiano terminal-Albiano).

No Turoniano o nível relativo do mar era cerca de 200 m mais elevado que nos dias atuais, fazendo com que extensas áreas continentais tornassem-se mares epicontinentais como o *Western Interior Seaway* - Estados Unidos e *North African Seaway* - Norte da África. Na África este evento estabeleceu uma passagem oceânica entre o Atlântico Sul e a porção Mediterrânea do Mar Tétis. No Estados Unidos extensas áreas foram cobertas por mares relativamente rasos e quentes, onde depositaram-se consideráveis volumes de rochas carbonáticas e folhelhos negros. Dentro deste contexto paleogeográfico muitos autores estabelecem modelos de distribuição paleobiogeográfica de organismos bentônicos e planctônicos com o objetivo de verificar se as rotas de migração são coerentes com as conexões marinhas e continentais propostas pelos modelos de evolução tectônica do oceano.

Dias-Brito (1995) discute a similaridade entre os pitonelídeos do Mar Tétis e do Oceano Atlântico Sul e conclui que durante o mesocretáceo estas massas de águas foram interligadas por correntes superficiais. Este autor propõe a inserção dos segmentos equatorial e setentrional do Oceano Atlântico Sul na província tetiana, compondo o que ele chamou de Tétis Sul-Atlântico. Para o autor, as águas de fundo do Oceânico Atlântico Sul originaram-se na Região Caribeana do Tétis, e as diferenças biogeográficas das associações bentônicas justificam-se pelas diferenças de salinidade, temperatura e nutrientes, sem a existência de barreiras oceanográficas entre estes oceanos. Contudo, a partir do Vraconiano as influências das águas da parte mais austral do Oceano Atlântico tornaram-se mais efetivas, causando nas bacias da plataforma continental brasileira, de sul para norte, a substituição dos depósitos carbonáticos por siliciclásticos. Este evento marcaria a redução ou desintegração da província, denominada pelo autor, de Tétis Sul-Americano.



Outros autores também têm demonstrado que existem similaridades entre as microfaunas turonianas do Atlântico Sul, do Atlântico Norte e do Mar Tétis (Koutsoukos, 1992; Smith, 1982, *apud* Dias-Brito, 1995; Seeling & Bengtson, 1999). De uma maneira geral, estes autores concluem que a partir do neoaptiano-Albiano já existiam rotas migratórias entre estes oceanos, e que estas se tornaram gradativamente mais efetivas até o neocenomaniano. Por outro lado, Kuhnt & Wiedmann (1995) e Gebhardt (1999) reconhecem algumas diferenças entre as associações bentônicas do Oceano Atlântico Sul e do Mar Tétis, que justificariam a existência de províncias paleobiogeográficas distintas durante o Cenomaniano-Turoniano.

### 3.2 CLIMA, CIRCULAÇÃO OCEÂNICA E ATMOSFÉRICA

O clima depende fundamentalmente da energia que incide sobre a Terra e da maneira como ela é refletida, absorvida e distribuída. A composição e a circulação dos oceanos e da atmosfera exercem grande influência sobre o clima, da mesma forma que a hidrosfera e a atmosfera respondem diretamente a qualquer alteração climática causada por fatores globais ou locais, tais como: mudanças na distribuição paleogeográfica dos continentes, grandes alterações no relevo, variação na taxa de expansão do fundo oceânico e alteração dos parâmetros orbitais. Assim, uma reconstituição climática do Cretáceo pode ser feita utilizando-se dados de paleorelevo, paleontologia, isótopos de oxigênio e distribuição das rochas indicativas das condições climáticas, ou por meio de modelos numérico climáticos. Estes modelos fundamentam-se na dinâmica do clima atual e através da substituição de determinados parâmetros (paleogeografia, paleorelevo, pressão de CO<sub>2</sub> e cobertura vegetal) tentam reconstituir o paleoclima e a paleocirculação oceânica e atmosférica.

De um modo geral, aceita-se que clima do Cretáceo tenha sido bem mais quente e com um gradiente térmico pólo-equador bastante reduzido em relação aos dias de hoje (Barron, 1983). Um grande número de pesquisadores sugere a ausência de calotas polares e temperaturas médias em torno de 10°C nas altas latitudes, com um gradiente térmico entre o equador e o pólo variando entre 17 e 26°C (Barron, 1983; Tolmazin, 1985; Parrish & Spice, 1988; Frakes & Francis, 1990; Huber *et al.*, 1995). Entretanto, persistem diversas dúvidas

sobre quais seriam os mecanismos indutores de um clima mais quente e uniforme. Inicialmente, acreditava-se que as diferenças paleogeográficas seriam suficientes para explicar o clima no Cretáceo (Windley, 1995); porém os modelos numérico climáticos elaborados mais recentemente têm demonstrado que as mudanças paleogeográficas do Cretáceo implicariam em um aquecimento global bastante modesto, mesmo considerando-se a ausência de calotas polares (no máximo  $4,8^{\circ}\text{C}$ ), e não justificariam a equalização da temperatura entre o pólo ao equador (Barron & Washington, 1982). Outras simulações confirmam que a redistribuição dos continentes, mudanças no relevo continental e marinho, no nível relativo do mar, e na circulação dos oceanos e atmosfera, não seriam suficientes para justificar as diferenças climáticas do Cretáceo (Seidov, 1986 e Hay, 1996).

Segundo vários autores, o parâmetro que melhor responde ao aquecimento e equalização climática é o aumento da pressão de  $\text{CO}_2$ . A elevação na produção de  $\text{CO}_2$  é associada ao aumento da atividade vulcânica em decorrência da ascensão de “superplumas” provenientes do manto. Estas plumas deflagrariam um aumento generalizado da atividade vulcânica e da paleotemperatura, causando uma elevação na taxa de expansão de fundo oceânico e no nível relativo do mar (Larson, 1991 e Caldeira & Rampino, 1991; Fig. 3.2). Barron *et al.* (1995), com base em modelos climáticos numéricos, supõem que um aumento de quatro vezes na concentração de  $\text{CO}_2$ , acompanhado de um relativo aumento de transporte de calor pelos oceanos, poderia justificar as temperaturas mais altas e equalizadas. De fato, a distribuição do calor e da umidade por meio da circulação dos oceanos e da atmosfera parece ter sido um fator determinante na redução do gradiente térmico entre o pólo e o equador durante o Cenomaniano-Turoniano, além de ter controlado a formação e a distribuição dos depósitos carbonáticos e siliciclásticos ricos em MO.

### 3.2.1 Circulação Oceânica e Atmosférica.

Para compreender a circulação dos oceanos é necessário conhecer a sua estrutura. Atualmente os oceanos são estratificados verticalmente e delimitados horizontalmente em função das diferenças de densidade termo-halina de suas águas. A circulação superficial é induzida, principalmente, pela circulação atmosférica. Já a circulação vertical depende em

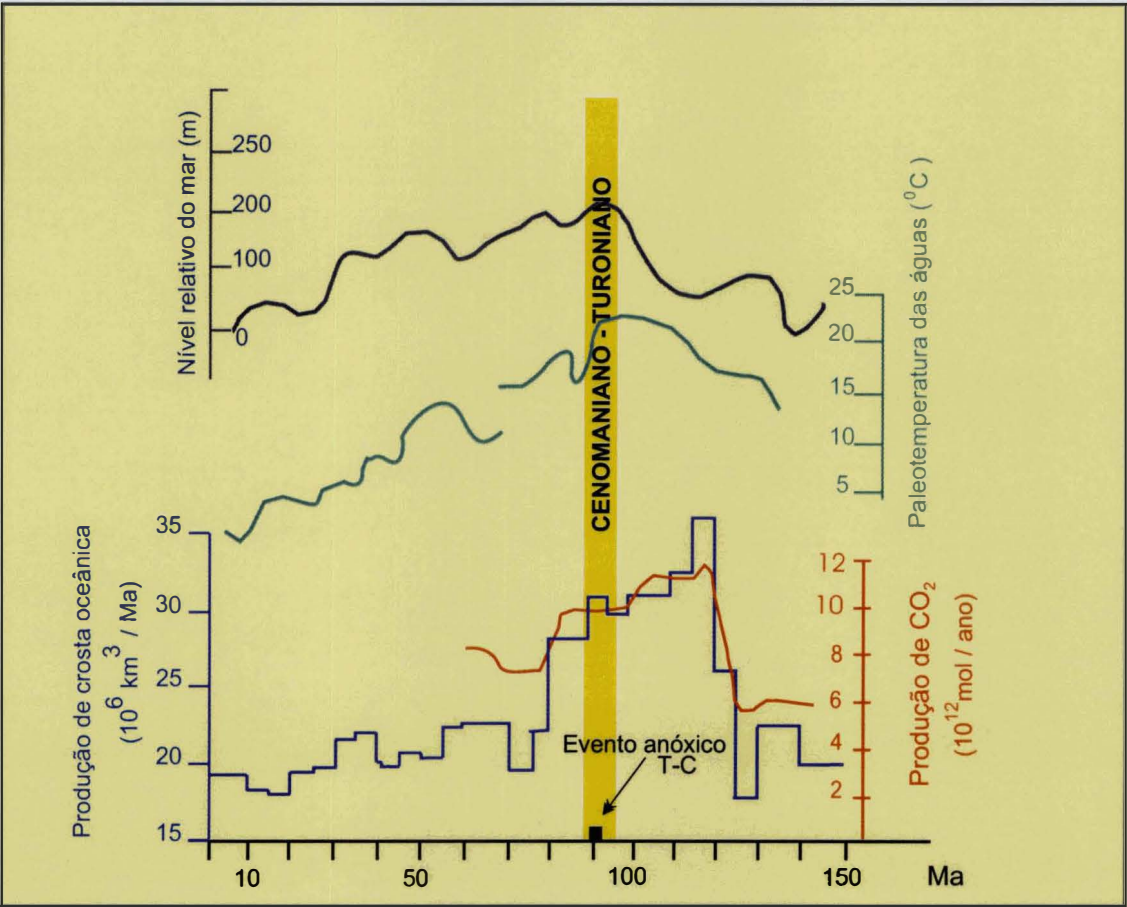


Figura 3.2 - Gráfico mostrando a combinação da produção de crosta oceânica (Larson, 1991), variação relativa do nível do mar (Haq *et al.*, 1988), paleotemperatura na superfície do mar em altas latitudes (Savin, 1977) e estimativa da produção de  $\text{CO}_2$  (Larson, 1991). Escala de tempo geológico de Harland (1990) (Modificado de Caldeira & Rampino, 1991).

grande parte do contraste de densidade termo-halina e da circulação oceânica superficial (Fig. 3.3a). No conjunto, o oceano pode ser visto como várias massas d'água de densidades diferentes, que se movimentam devido à ação dos ventos e às mudanças de salinidade e de temperatura. A circulação superficial segue um padrão de “giros” anticiclônicos na faixa tropical e sub-tropical, com rotação no sentido horário no hemisfério Norte e anti-horário no hemisfério Sul devido ao efeito da coriolise. Na faixa sub-polar do hemisfério Norte ocorre um giro ciclônico (sentido anti-horário); no hemisfério Sul, teoricamente, o giro ciclônico deixou de existir quando se estabeleceu, no Terciário a corrente circumpolar Antártica. Verticalmente, os oceanos poderiam ser divididos em quatro camadas, em função da densidade: águas superficiais, picnoclina<sup>7</sup>, águas intermediárias, águas de fundo (Fig. 3.3b). As águas intermediárias e de fundo interceptam a superfície dos oceanos em determinadas faixas latitudinais, denominadas de frentes. Nestes locais ocorre a emersão das águas mais densas. As duas principais frentes são a sub-tropical e a polar, posicionadas aproximadamente nas latitudes de 45° e 60° N e S, respectivamente.

Uma das questões fundamentais sobre os oceanos do Cretáceo é saber o quanto a sua estrutura e o padrão de circulação eram diferentes do atual. Até pouco tempo a maior parte dos modelos de circulação paleoceânica atribuíam para o Cretáceo uma circulação lenta, com águas estratificadas, pobres em oxigênio e com taxa de renovação reduzida das águas intermediárias e profundas. Este modelo contrasta com o atual, onde a circulação é intensa e os oceanos bem ventilados. Por isto o modelo de circulação lenta, frequentemente é usado para explicar a formação dos folhelhos negros amplamente disseminados no mesocretáceo (Roth, 1989; Jenkyns, 1980; Demaison & Moore, 1980; Bralower & Thierstein, 1984).

Somente a partir das idéias proposta por Brass *et al.* (1982), de que durante o Cretáceo as águas de fundo seriam hipersalinas e formadas em plataformas rasas na região equatorial, a hipótese de uma taxa mais elevada de renovação das águas de fundo e intermediárias começou a tomar vulto. A intensa circulação fundamentada em um mecanismo diferente do atual poderia explicar um aumento no fluxo de calor para os pólos, com conseqüente homogeneidade climática e formação dos depósitos ricos em MO (Barron & Washington, 1982 e Hay, 1995). Cabe ressaltar que a intensificação dos fenômenos de

<sup>7</sup> A base da camada superficial onde as águas encontram-se permanentemente misturada é o topo da picnoclina. Abaixo deste horizonte a densidade aumenta devido ao decréscimo de temperatura e/ou aumento de salinidade. Sua profundidade muda ao longo do oceano devido a vários fatores: latitude, estratificação vertical e horizontal dos oceanos.



(a)

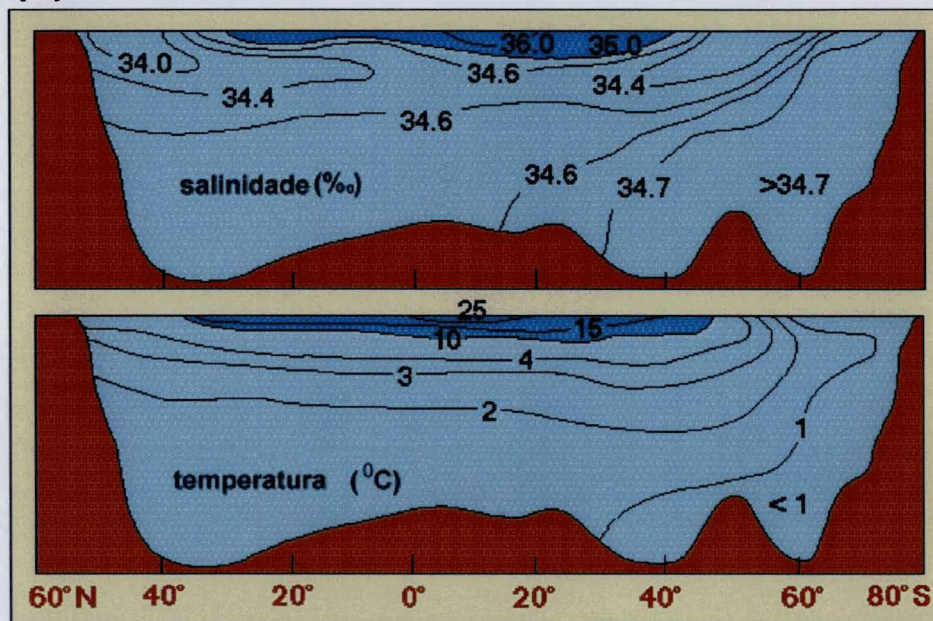


Figura 3.3a - Variações da salinidade e da temperatura em função da latitude e da profundidade, ao longo de uma seção longitudinal no Oceano Atlântico. Observa-se que entre as latitudes de 45° S e 60° S ocorre a submersão das águas mais frias da Antártica, formando as águas intermediárias - profundas (Modificado de Scholle, 1996).

(b)

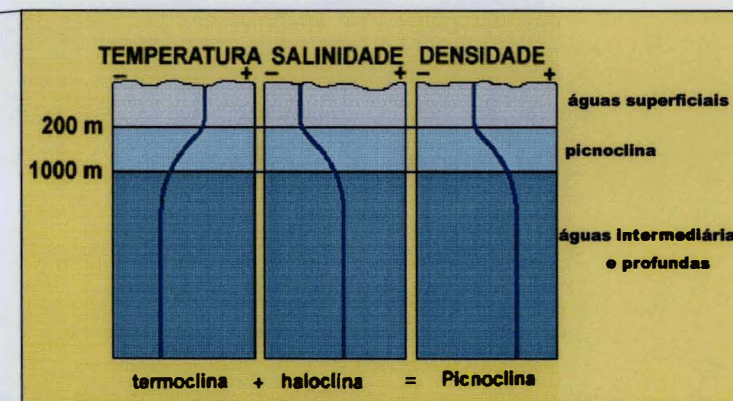
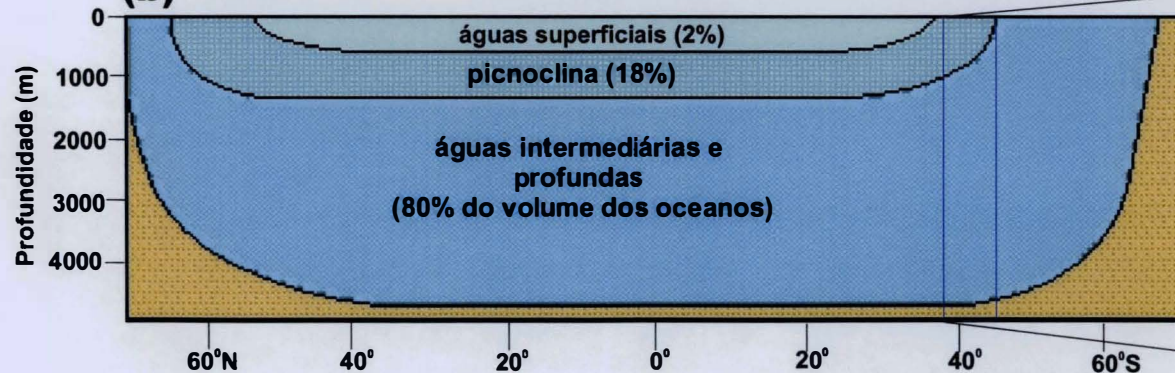


Figura 3.3b - Desenho esquemático mostrando as variações da temperatura e da salinidade com o aumento da profundidade. Estas mudanças causam um aumento da densidade. Os pontos de maior variação de densidade assinalam os limites entre as camadas de água superficial, piconclina e intermediária-profunda (Modificado de Garrison, 1985, *apud* Scholle, 1996).

ressurgência durante o Cretáceo implicaria em uma circulação atmosférica e oceânica superficial tão vigorosa quanto a atual (Parrish & Curtis, 1982 e Parrish, 1995). De fato, segundo Barron (1986) e Hay (1995), os padrões de circulação atmosférica do Cretáceo seriam similares aos atuais, com as maiores diferenças nos padrões de correntes oceânicas, devido à distribuição dos continentes, a forma de suas bordas e variações topográficas. Os grandes giros ciclônicos e anti-ciclônicos já existiam, tendo sido modificados posteriormente (Hay, 1995).

Segundo Zimmerman *et al.* (1987), a distribuição dos depósitos ricos em MO do Oceano Atlântico Sul sugere que durante o Cenomaniano e o Turoniano este oceano era formado por bacias relativamente isoladas. Para eles a circulação de fundo entre o oceano Atlântico Norte e Sul somente teria tornado-se efetiva no decorrer do Cenomaniano. Ao sul, a circulação era controlada pelas elevações de Rio Grande e Walvis, e pelos canais de Agulhas e Vema. A integração das bacias de Angola e do Brasil com a parte mais austral do oceano ocorreria através destes canais, já que a barreira formada pelo Platô de São Paulo e elevações de Rio Grande e Walvis impediriam a circulação aberta. A circulação de fundo, segundo os autores, seguiria o modelo proposto por Brass *et al.* (1982), ou seja, correntes de fundo induzidas por águas hipersalinas e depletadas em oxigênio. Além disso, ao norte das elevações de Rio Grande e Walvis existiria um padrão de circulação anticiclônico (sentido anti-horário) com formação de áreas de ressurgência na costa oeste da África. A inexistência da corrente circumpolar Antártica deve ter induzido a formação de um giro ciclônico (sentido horário) na parte austral do Oceano Atlântico que, de certa forma também dificultava que as correntes atingissem a parte setentrional do Atlântico Sul (Fig. 3.4).

### 3.2.2 Modelos Numéricos Climáticos Globais

O avanço no campo da informática propiciou o desenvolvimento dos denominados modelos numéricos climáticos globais. Desde os anos 80, o número de modelos que tentam simular o comportamento da temperatura, evaporação, precipitação e circulação dos oceanos e da atmosfera vêm aumentando consideravelmente. Estes modelos são desenvolvidos em base a um conjunto de dados que supostamente controlam o clima da Terra nos dias de hoje. Assim, diversas variáveis tais como temperatura, umidade e gelo são



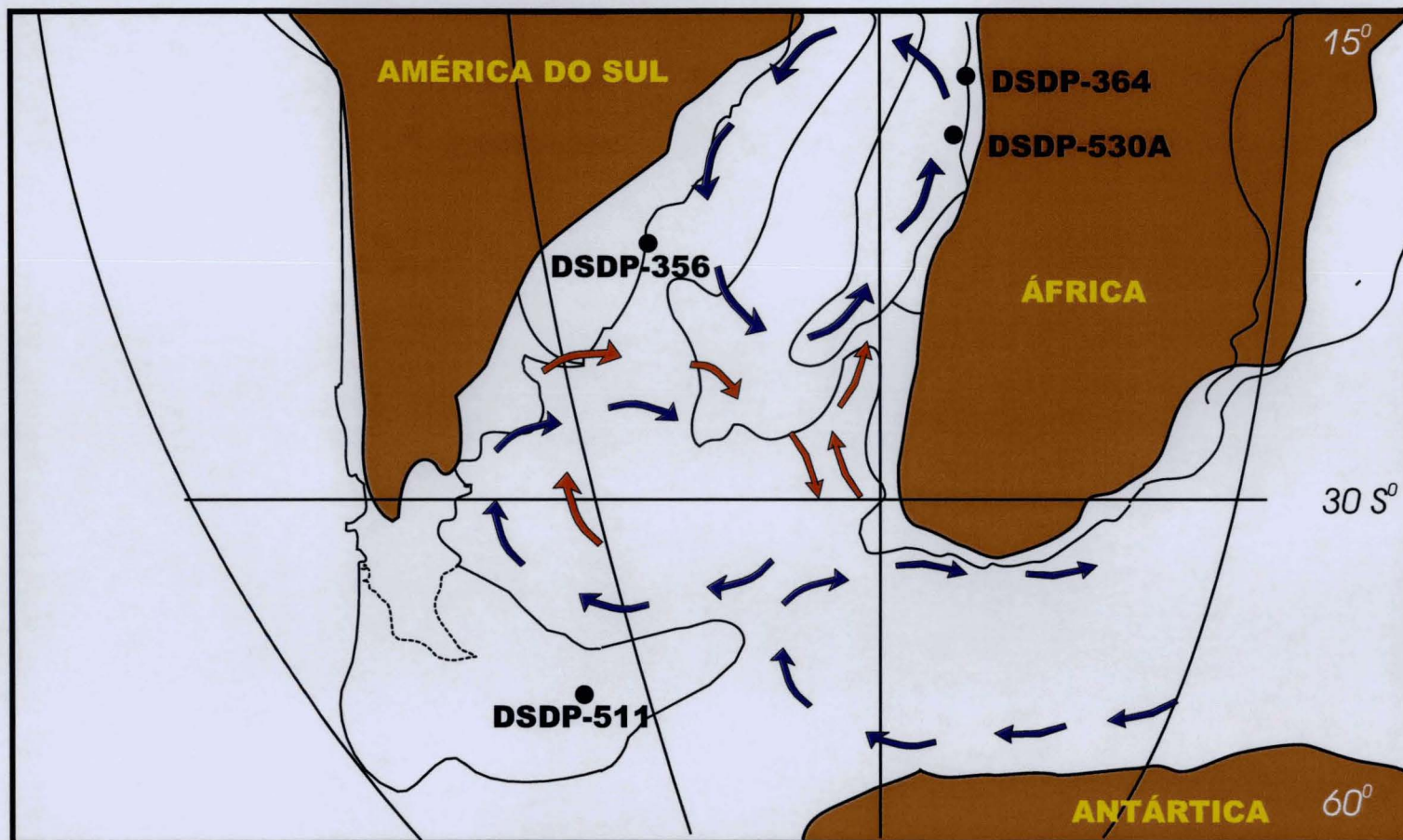


Figura 3.4 - Circulação oceânica no Atlântico Sul durante o Cenomaniano-Turoniano segundo Zimmerman *et al.* (1978). As setas azuis e vermelhas correspondem à circulação superficial e de fundo, respectivamente. Mapa paleogeográfico adaptado de Smith *et al.* (1994).



quantificadas e introduzidas em um programa de computador, simulando as variações climáticas da Terra. Uma vez ajustado para o Recente, o modelo pode ser aplicado para o passado, bastando adequar os parâmetros usados. Como os resultados obtidos dependem do volume e confiabilidade dos dados, torna-se essencial para a obtenção de bons resultados, o conhecimento da temperatura do ar e das águas oceânicas, da pressão de CO<sub>2</sub>, da condutividade térmica das águas e do ar, e dos tipos de vegetação e solo.

A aplicação destes modelos em geologia têm como objetivo reconstituir as variações da temperatura, da circulação oceânica e atmosférica, da evaporação e da precipitação pluviométrica ao longo do tempo geológico. O produto destas análises são mapas que refletem o comportamento destes fatores em face às mudanças paleogeográficas, paleomorfológicas, orbitais, composição físico-química da atmosfera e dos oceanos. Estes mapas podem ser úteis nos estudos cicloestratigráficos, porém apresentam limitações inerentes aos processos de tratamento matemático de um conjunto de dados muito complexo.

Prince *et al.* (1995) discutem alguns problemas deste tipo de abordagem. Para os autores, uma das principais limitações referem-se à maneira como os paleomapas são gerados. Nestes mapas pressupõem-se uma homogeneidade de dados e resultados segundo células retangulares de comportamento paramétrico; isto é: os dados utilizados são muito simplificados e o comportamento destas variáveis são inalterados em áreas relativamente grandes, correspondendo ao tamanho das células (cerca de 5.0000 a 1.000.000 km<sup>2</sup>). Por exemplo, assumem-se características uniformes para o solo e águas oceânicas, espessura constante da hidrosfera e atmosfera, altura uniforme para as elevações topográficas; entretanto desconsidera-se as mudanças climáticas de curta duração e pequena dimensão, mas de grande intensidade (tempestades, nevascas e furacões).

Outro problema refere-se à adoção de parâmetros segundo um determinado modelo conceitual. Barron *et al.* (1995), por exemplo, testaram por meio de modelos numéricos o quanto seria necessário aumentar a pressão de CO<sub>2</sub> para atingir uma temperatura compatível com o clima cretácico. Neste caso, a premissa básica utilizada pelos autores foi que o clima do Cretáceo era mais quente devido aos teores mais elevados de CO<sub>2</sub> na atmosfera.

Barron & Washington (1982) compararam o clima atual e do Cretáceo utilizando mapas de temperatura, de pressão atmosférica, de evaporação e de precipitação, sendo testadas duas hipóteses diferentes: a primeira considera que a única diferença do Cretáceo para hoje

seria a distribuição geográfica dos continentes; a segunda supõe que além das diferenças paleogeográficas, a temperatura das águas oceânicas não ultrapassaria 10° C. Os mapas gerados são bastante distintos, comprovando que pequenas mudanças no modelo conceitual implicam em mapas paleoclimáticos acentuadamente diferentes.

Park & Oglesby (1994) propuseram um modelo numérico climático para o mesocretáceo onde o principal parâmetro modelado foi a variação pluviométrica. Os paleomaps gerados para o mesocretáceo (100 Ma) e neocretáceo (70 Ma) refletem situações de máxima e mínima incidência solar modulada por uma combinação dos ciclos de precessão e de obliquidade. Nesta abordagem, os autores assumem parâmetros climáticos similares aos atuais (temperatura, pressão de CO<sub>2</sub> e salinidade das águas oceânica), modificando somente a quantidade de energia solar. Os principais parâmetros alterados, em relação aos dias atuais, foram a configuração paleogeográfica dos continentes e a ausência de calotas polares. Os resultados demonstram que, ao longo de um ciclo orbital (independente da temperatura e da pressão de CO<sub>2</sub>), algumas áreas caracterizam-se por uma alternância de climas úmidos e secos. Esta modelagem é bastante útil nos estudos de ciclicidade do neocretáceo, e será detalhada no capítulo 13.

### 3.3 PRODUTIVIDADE PRIMÁRIA

Outro parâmetro oceanográfico importante é a produtividade primária. Dela depende a produção e exportação de carbonato e carbono orgânico para os depósitos sedimentares. Somente uma pequena parte do carbonato de cálcio e da MO produzida nos mares é retida de forma permanente no substrato rochoso. Eles são gerados principalmente na zona fótica dos oceanos. Com o aumento da profundidade, inicia a oxidação da MO causando um aumento na pressão de CO<sub>2</sub> e redução do teor de O<sub>2</sub>. A intensidade destes processos depende da quantidade de MO e CaCO<sub>3</sub> e de fatores físico-químicos, tais como temperatura, salinidade e quantidade de oxigênio (Morse & Mackenzie, 1990).

Reconstituir a produtividade primária do Cretáceo, a partir do conhecimento dos ambientes marinhos atuais, é uma tarefa bastante difícil, já que além de não se conhecer bem o mecanismo ligado às variações da produtividade primária atual, não se sabe precisamente o seu significado no registro geológico. Ademais, o registro geológico preserva somente uma

pequena amostra das complexas reações ocorridas na zona produtiva dos oceanos, ou talvez somente os eventos anômalos (Berger *et al.*, 1989).

Atualmente, as principais áreas oceânicas com produtividade elevada estão localizadas nas bordas leste dos oceanos, na faixa tropical e sub-tropical, ainda que ocorram áreas de produtividade consideravelmente alta nas bordas oeste e nas latitudes altas de ambos os hemisférios. Os valores mais elevados de produtividade estão associados ao fenômeno de ressurgência e ao aporte de águas continentais ricas em nutrientes, ambos dependentes da circulação oceânica e do clima (Fig. 3.5). Segundo Hay (1995), cerca de 80% da produtividade nos oceanos está associada aos fenômenos de ressurgência em oceanos abertos, sendo que somente uma pequena parte da MO gerada é incorporada nos sedimentos. A disponibilidade contínua de nutrientes e a intensa circulação vertical ao longo da zona fótica são consideradas as principais causas da elevada produtividade destas regiões.

O conteúdo de clorofila, a quantidade de nutrientes e a abundância de organismos planctônicos são alguns dos parâmetros utilizados para caracterizar e quantificar a produtividade primária. Segundo Berger *et al.* (1989), um dos índices de produtividade mais utilizado é o de Steemann Nielsen (Steemann Nielsen & Aabye Jensen, 1957, *apud* Berger *et al.*, 1989), o qual se fundamenta na quantidade de  $\text{CO}_2$  utilizada no crescimento dos organismos marinhos, em um dado período de tempo sob condições adequadas. Este índice pode variar desde valores muito baixos, em torno de  $25 \text{ gC/m}^2/\text{ano}$  (áreas de giro sub-tropical), até valores extremos,  $250 \text{ gC/m}^2/\text{ano}$  (áreas costeiras com fortes processos de mistura e ressurgência).

O ferro,  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ,  $\text{NO}_3^-$  e  $\text{H}_4\text{SiO}_4$  são os principais nutrientes necessários ao crescimento das plantas nos oceanos. Estes são fornecidos, principalmente, a partir das águas dos rios ou de fontes hidrotermais, e a sua falta pode constituir-se em um fator limitante do aumento da produtividade oceânica (Hay, 1995). Em algumas áreas oceânicas, a ressurgência e a reciclagem dos nutrientes podem ser mais importantes que a própria entrada de novos nutrientes no sistema.

A grande quantidade de depósitos ricos em MO em rochas carbonáticas no Cretáceo médio sugere que a produtividade dos oceanos foi extremamente elevada neste período, sobretudo levando-se em conta a ocorrência de um cenário climático com temperaturas elevadas e pressão de  $\text{CO}_2$  alta. As tentativas de quantificação da produtividade

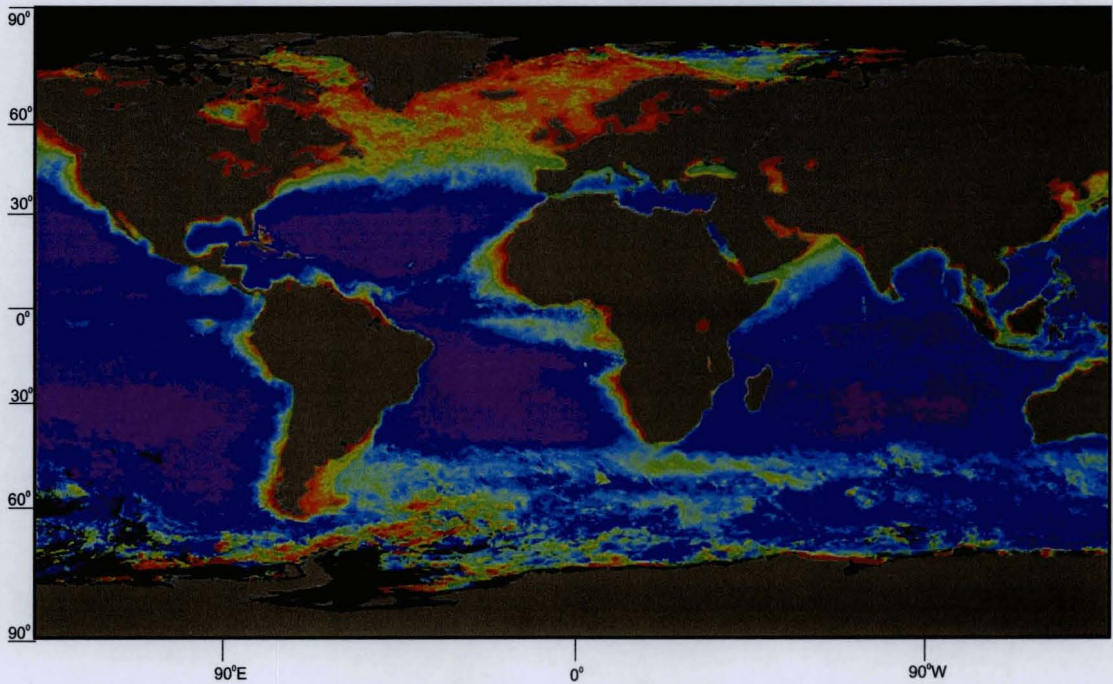


Figura 3.5a - Imagem de satélite ilustrando as variações na intensidade da produtividade primária nos oceanos. As cores púrpura, violeta e azul denotam áreas de baixa produtividade, normalmente localizadas nas áreas oceânicas mais distantes da costa. As cores amarela e vermelha assinalam as áreas de alta produtividade, situadas nas bordas oeste dos continentes Africano e Sul-Americano e nas regiões polares. Na costa da África e do Peru, a produtividade primária é causada por fenômenos de ressurgência; enquanto que nas altas latitudes resulta do aporte de águas ricas em nutrientes provenientes do degelo (Modificado de Scholle, 1996).

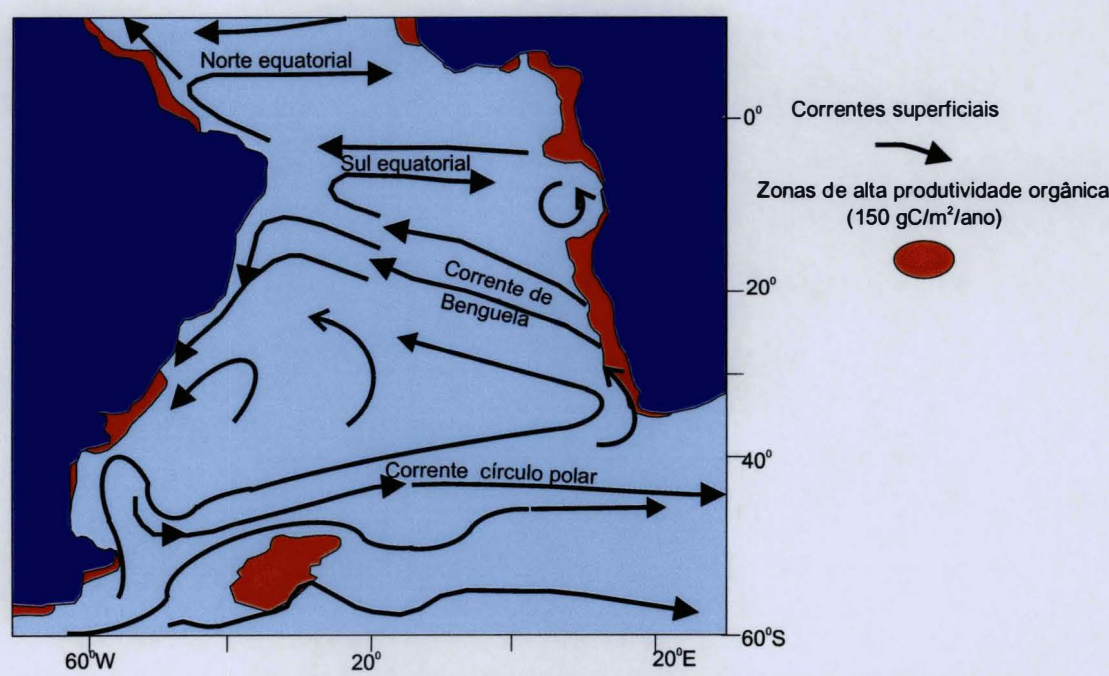


Figura 3.5b - Mapa esquemático mostrando as relações entre as correntes oceânicas superficiais e as áreas de alta produtividade no Oceano Atlântico Sul (Modificado de Davison, 1999).



primária em sedimentos pretéritos têm sido feitas por vários pesquisadores (Müller & Suess, 1979; Bralower & Thierstein, 1984; Bralower & Thierstein, 1987; Sarnthein *et al.*, 1992). A metodologia mais utilizada para estimar a produtividade consiste em desenvolver equações matemáticas com dados atuais de taxa de sedimentação, taxa de produção primária e quantidade de carbono orgânico depositado no fundo oceânico. Admitindo-se uma correlação direta e linear entre estas variáveis, obtém-se uma equação que permite predizer o conteúdo de carbono orgânico sedimentar gerado em função da média anual de produtividade primária e da taxa de sedimentação (Fig. 3.6a). Os valores de produtividade pretérita são obtidos da mesma maneira, sendo apenas incluída uma constante denominada de fator de preservação, que visa compensar as transformações que sofre a MO desde a superfície das águas até o fundo dos oceanos, e a quantidade de MO que é efetivamente incorporada à rocha (Fig. 3.6b).

Müller & Suess (1979) foram pioneiros na tentativa de quantificar a produtividade primária. Trabalhando em seqüências holocênicas glaciais-interglaciais da margem continental noroeste da África, os autores tentaram explicar os elevados teores de  $C_{org}$  em sedimentos glaciais, comparativos aos sedimentos interglaciais. Como resultado da pesquisas concluíram que a paleoprodutividade mais elevada ocorre nos períodos glaciais devido ao aumento do influxo continental ou devido à ampliação das áreas de ressurgência.

Bralower & Thierstein (1987), calcularam e compararam as taxas de produtividade do Holoceno e do Cretáceo. Para isto, utilizaram-se da taxa de preservação da MO (*c.f.* Müller & Suess, 1979) e taxa de acumulação de MO de várias áreas oceânicas recentes com alta produtividade e duas seções cenomanianas dos poços do DSDP (neste caso a taxa acumulação de MO foi estimada a partir do COT). Os resultados indicam que durante o Cenomaniano haveria uma produtividade baixa, mesmo considerando taxas de preservação superiores a 10% (Fig. 3.7). É importante salientar que a conclusão de Bralower & Thierstein (1987) foi feita a partir de valores médios de paleo-produtividade, com uma amostragem relativamente pequena e esparsa para um intervalo de tempo muito longo (nove amostras para o Cenomaniano que tem cerca de 5,5 Ma). Assim, é provável que a formação dos depósitos ricos em MO esteja relacionada a eventos de alta produtividade de curta duração e alta frequência, na passagem do Cenomaniano para o Turoniano, e que os cálculos de produtividade média feitos Bralower & Thierstein (1987) englobem estratos representativos de baixa produtividade, intercalados aos de maior produtividade.

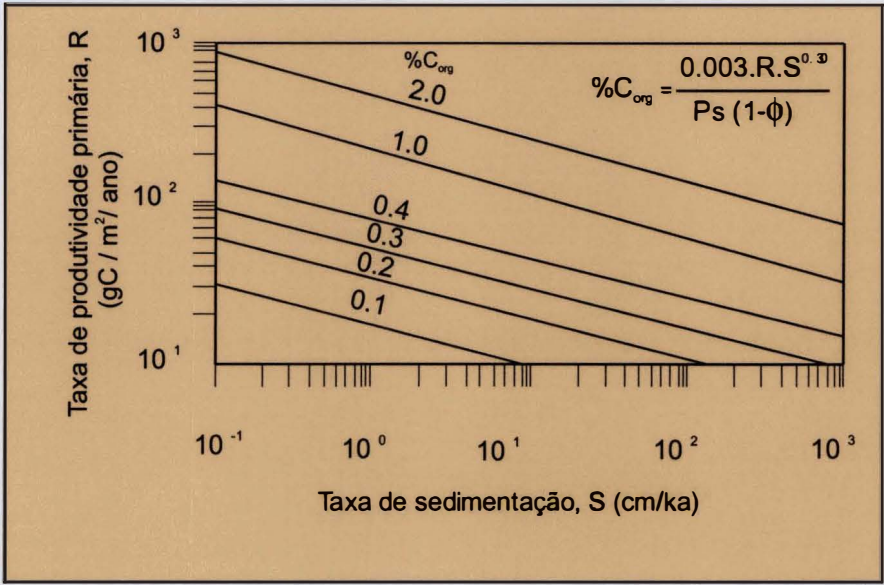


Figura 3.6a - Equação utilizada para o cálculo da produtividade primária a partir dos valores da taxa de sedimentação e da % C<sub>org</sub>. O gráfico mostra as relações entre estas três variáveis, segundo a função apresentada no canto superior direito; Valores de densidade e porosidade: P<sub>s</sub> = 2,71 e φ = 0,77 (Modificado de Müller & Suess, 1979).

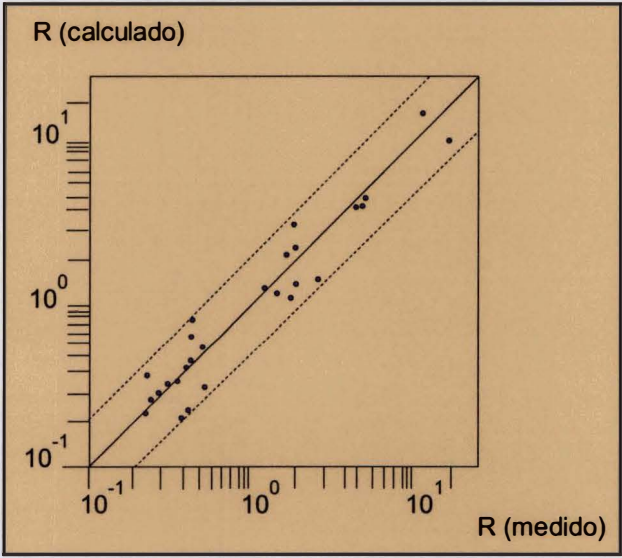


Figura 3.6b - Gráfico comparativo dos valores de produtividade primária (R), calculados utilizando-se a equação proposta por Müller & Suess (1979; fig. 3.6a), e dos valores de produtividade, medidos em amostras do recente. A diferença entre as variáveis é o fator de preservação da MO (Modificado de Müller & Suess, 1979).

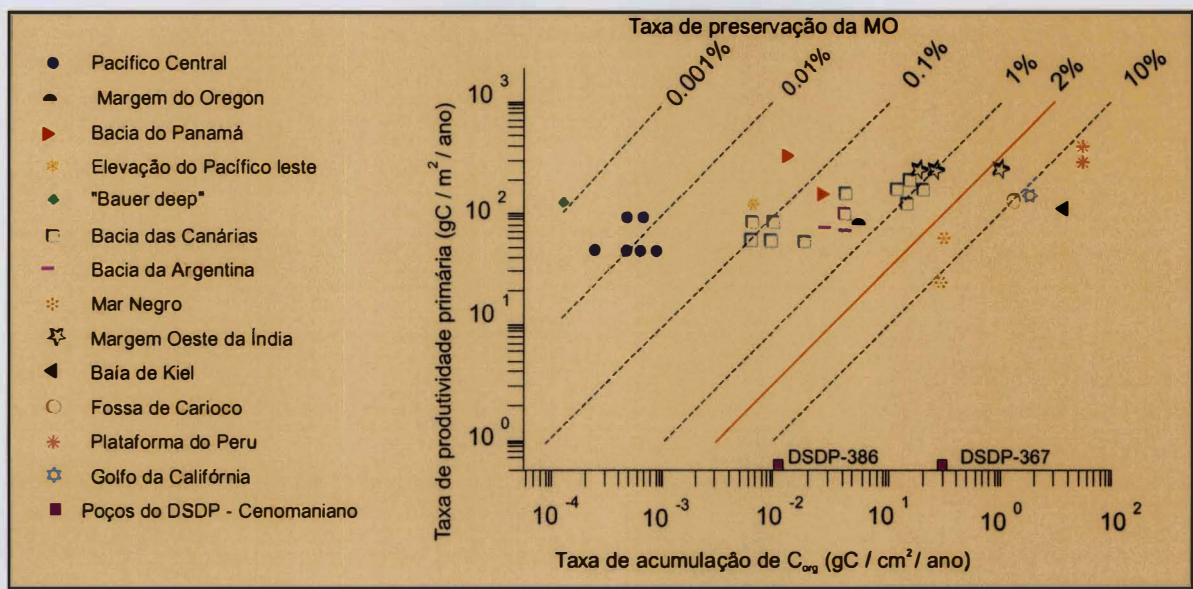


Figura 3.7 - Gráfico comparando os valores estimados de produtividade primária em amostras do Cretáceo e valores medidos em amostras do Recente. As amostras do DSDP são do Cenomaniano e representam intervalos betuminosos, sendo a taxa de acumulação da MO estimada a partir do COT. As linhas pontilhadas indicam o fator de preservação da MO (Modificado de Bralower & Thierstein, 1987).



Ainda com relação às equações elaboradas para medir a paleoprodutividade, é importante citar os trabalhos de Berger *et al.* (1989) e Sarnthein *et al.* (1992). Ambos estabeleceram diferentes equações para relacionar o fluxo de  $C_{org}$ , a batimetria e a produtividade primária. Sarnthein *et al.* (1992) utilizam novas equações que aplicadas aos dados de Bralower & Thierstein (1987), reforçam a interpretação destes autores de que a taxa de produtividade atual é mais elevada do que a do Cretáceo.

Embora a produtividade do mesocretáceo possa ter sido reduzida, o grande número de depósitos ricos em MO e de vazas de organismos planctônicos calcários, sugerem que os eventos de alta produtividade de curta duração foram comuns nas águas do Oceano Atlântico e do Mar Tétis. Esta hipótese é reforçada por diversos trabalhos que teorizam a existência de algumas áreas de ressurgência ao longo da margem leste, e, principalmente, da margem oeste do Atlântico (Parrish & Curtis, 1982; Koutsoukos, 1992; Parrish, 1995; Dias-Brito, 1995).

#### **4. DEPÓSITOS PELÁGICOS-HEMIPELÁGICOS E TURBIDITOS DE GRANULOMETRIA FINA: PROCESSOS E FÁCIES.**

Os principais depósitos sedimentares marinhos de águas profundas relacionam-se a quatro tipos de processos deposicionais: a) transporte e deposição por fluxos gravitacionais, incluindo fluxo de detritos, correntes de turbidez, fluxos de grãos e escorregamentos; b) remobilização por correntes de fundo ou associados às correntes de contorno; c) deposição por suspensão; d) precipitação química e bioquímica (Fig. 4.1). A interação destes processos e dos constituintes sedimentares (terrígenos, bio-quimiogênicos e vulcanogênicos) podem determinar a existência de um grande número de fácies com grande uma complexidade composicional e de estruturas sedimentares (Kennett, 1982; Stow & Piper, 1984; Fig. 4.2).

Em função das características faciológicas das seções estudadas, somente os sistemas hemipelágicos-pelágicos e os turbiditos de granulometria fina serão abordados neste capítulo. Os primeiros foram amostrados pelos testemunhos dos poços DSDP-511, DSDP-364 e DSDP-356. Nos poços DSDP-530A e SA-1, além dos depósitos hemipelágicos-pelágicos, também ocorrem turbiditos síltico-argilosos. Na Bacia de Sergipe, tanto nos poços (SE-1 e SE-2) como nas seções aflorantes (pedreiras Votorantim e Rita Cacete) ocorrem calciturbiditos de granulomeria muito fina.

##### **4.1 SISTEMAS PELÁGICOS-HEMIPELÁGICOS**

Os depósitos pelágicos são formados, principalmente, por sedimentos de origem biogênica e autigênica. A medida que a contribuição de sedimentos provenientes das áreas continentais aumenta, estes passam a ser denominados de depósitos hemipelágicos. A composição destes depósitos depende em grande parte dos fatores tectônicos (contexto geotectônico e relevo do fundo oceânico), oceanográficos (correntes oceânicas, temperatura e salinidade das águas) e climáticos (intensidade de denudação das áreas fontes e influxo continental).

Os hemipelagitos e pelagitos ocorrem em muitas regiões oceânicas e são, essencialmente, formados pela deposição de sedimentos em suspensão sem a interferência acentuada de correntes oceânicas ou fluxos gravitacionais. Contudo, a ação destes processos

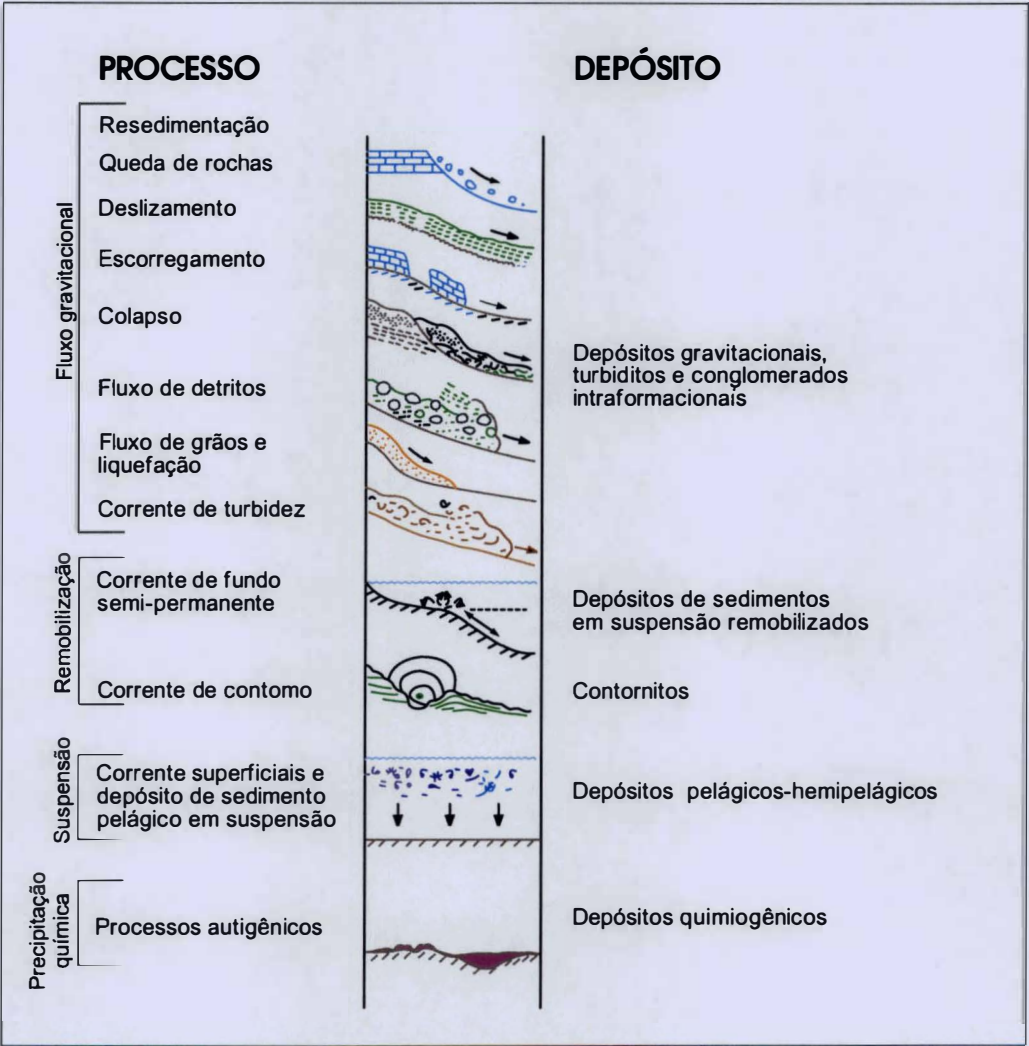


Figura 4.1 - Principais processos associados à formação dos depósitos de águas profundas (Modificado de Stow, 1986).

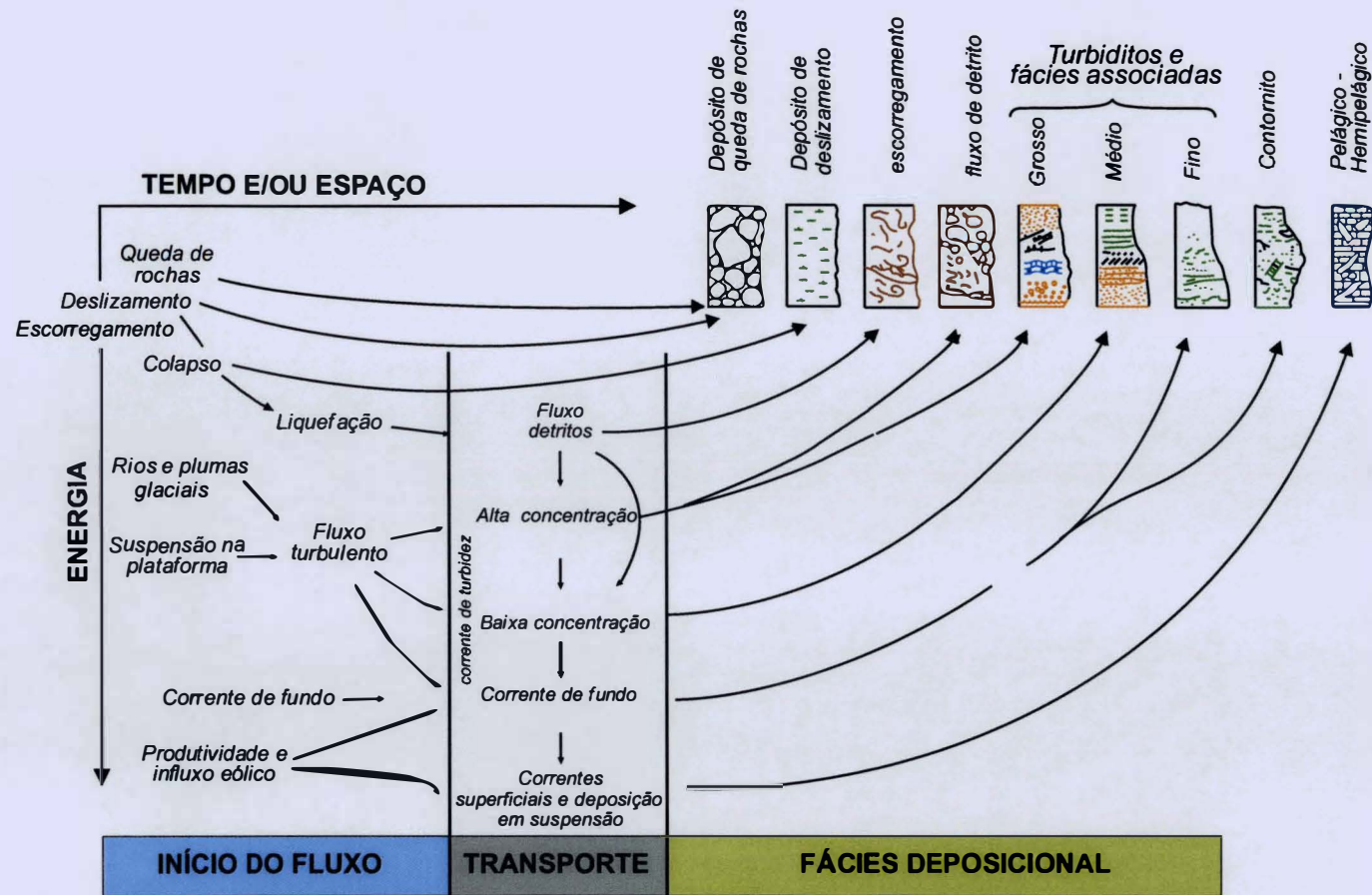


Figura 4.2- Interação de múltiplos processos na formação de depósitos de águas profundas. Partindo do talude em direção à bacia, as fácies e os processos modificam-se ao decorrer do tempo e com a redução de energia. A interação de múltiplos processos permite a formação de um grande número de fácies com grande complexidade de estruturas e composições ( Modificado de Stow & Piper, 1984).

sobre os sedimentos depositados originalmente por suspensão, faz com que os depósitos hemipelágicos e os pelágicos, freqüentemente, gradem para contornitos e turbiditos. Eventualmente, quando constituídos por sedimentos de tamanho silte e argila, bioturbados, a distinção entre depósitos hemipelágicos e turbidíticos torna-se muito difícil (Stow, 1986).

#### 4.1.1 Componente Biogênicos

As vazas são depósitos sedimentares constituídos, essencialmente, de elementos de origem biogênica, de natureza silicosa ou carbonática fina. Atualmente, nos oceanos existem três grupos de organismos planctônicos que compõem as vazas carbonáticas: nanofósseis, foraminíferos e pterópodos. Estes depósitos recobrem cerca de 50% do fundo oceânico e concentram-se, principalmente, entre as latitudes de 45°N e 45°S. Em contrapartida, as vazas silicosas concentram-se nas latitudes altas (Kennett, 1982 e Tucker & Wright, 1990). Os principais fatores que controlam a distribuição primária destes organismos na zona fótica dos oceanos é a quantidade de nutrientes e luz. Nas regiões de alta produtividade, como nas zonas de ressurgência e nas áreas de convergência, os organismos planctônicos calcários e silicosos distribuem-se, principalmente, em função do nível trófico; entretanto, a salinidade, a temperatura e a disponibilidade de sílica e  $\text{CaCO}_3$  são igualmente importantes.

Depois da produtividade, a dissolução é o segundo parâmetro mais importante na determinação do tipo de sedimento acumulado no assoalho oceânico. Nas águas oceânicas, o aumento da profundidade reduz a temperatura, eleva a pressão hidrostática e a quantidade de dióxido de carbono fazendo com que as águas se tornem sub-saturadas no íon carbonato. A medida que o íon carbonato torna-se menos abundante, a capacidade de dissolver os compostos carbonáticos<sup>1</sup> cresce. Deste modo, em função da natureza das partículas, a partir de uma determinada profundidade, denominada de lisoclina, a dissolução torna-se mais acentuada. Este termo foi cunhado por Berger (1970) para designar a profundidade de lâmina d'água abaixo da qual as associações de foraminíferos modificavam-se acentuadamente devido à dissolução seletiva de algumas espécies. Posteriormente, este termo foi aplicado a outros grupos, existindo lisoclinas referentes aos nanofósseis e pterópodos. Com o aumento

<sup>1</sup> A dissolução dos carbonatos com o aumento da pressão de  $\text{CO}_2$  ocorre segundo a reação:  
 $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{CaCO}_3 = \text{Ca}^{2+} + 2\text{HCO}_3^-$

crescente da coluna d'água, a dissolução intensifica-se até atingir um determinado nível, denominado de CCD (*calcite compensation depth*), onde os elementos de natureza carbonática são completamente dissolvidos. Apesar do efeito da dissolução estar presente ao longo de toda a coluna d'água ele torna-se mais efetivo abaixo da lisoclina (Kennett, 1982).

A profundidade da lisoclina e da CCD variam de um local para outro em função da circulação oceânica, da fisiografia de fundo e das características físico-químicas das águas. Segundo Ellis & Moore (1974), no Oceano Atlântico a CCD encontra-se mais rasa nas bacias do Brasil e Argentina (4800 m), e mais profunda nas bacias do Cabo (5100 m) e Angola (5400 m).

Ao longo da história geológica de uma bacia oceânica, a variação da profundidade da CCD depende dos seguintes fatores: a) evolução batimétrica; b) balanço da pressão de CO<sub>2</sub> nas águas, produção versus consumo de CaCO<sub>3</sub>; c) variação relativa do nível do mar; d) atividade vulcânica; e) clima; f) produtividade primária; g) circulação oceânica. Segundo Berger *et al.* (1981), a ampliação das plataformas carbonáticas durante os períodos de mar alto, aquecimento global das águas oceânicas e aumento da deposição de rochas ricas em matéria orgânica seriam propícios à redução batimétrica da CCD. Situação deste tipo é registrada no Cenomaniano-Turoniano, em quase todos oceanos (Larson, 1991; Caldeira & Rampino, 1991; Roth, 1989).

A transformação das vazas em rochas carbonáticas pelágicas-hemipelágicas (vazas, carbonatos, margas e folhelhos) é controlada pela quantidade e origem do material biogênico, pelos processos de diluição por elementos não biogênicos e pelas alterações diagenéticas (Kennett, 1982). Nos depósitos ricos em argila, a litificação é controlado pela compactação, enquanto que nas rochas com elevados teores de carbonato biogênico este processo é controlado pela dissolução e cimentação (Tucker & Wright, 1990).

Nas vazas formadas por foraminíferos e nanofósseis, constituídos principalmente por calcita com teor baixo de Magnésio, a litificação processa-se na interface sedimento-água devido a ação de correntes frias em áreas de taxas de sedimentação muito reduzidas, ou durante os estágios iniciais de soterramento em regiões de taxas de sedimentação mais elevada (Tucker & Wright, 1990). A taxa de sedimentação sobre os montes submarinos e platôs é baixa e associada à ação de correntes frias, formando crostas, "*hardgrounds*" e nódulos, cimentados por cimento micrítico com baixo conteúdo de Mg (Schalager & James, 1978 e Tucker & Wright, 1990).



#### 4.1.2 Componentes Não Biogênicos

Os principais constituintes não biogênicos das rochas pelágicas e hemipelágicas são as argilas de origem detrítica ou autigênica, podendo também existir em alguns sítios deposicionais a contribuição de outros grupos de sedimentos autigênicos, tais como: metais de transição, nódulos de manganês, fosforitas, zeolitas e baritas (Kennett, 1982). Nas cadeias mesoceânicas, por exemplo, as rochas pelágicas e hemipelágicas associam-se aos depósitos metalíferos de origem hidrotermal, rochas vulcânicas, arenitos, brechas e crostas de ferro e manganês (Jenkyns, 1986).

Nas rochas pelágicas e hemipelágicas formadas em áreas muito profundas das bacias oceânicas, freqüentemente abaixo da CCD, dominam as argilas vermelhas originárias da alteração de cinzas vulcânicas, ou trazidas pela ação do vento. Em regiões de forte correnteza formam-se crostas e nódulos de Ferro-Manganês. O influxo continental de silte, areia muito fina e matéria orgânica associam-se às correntes de turbidez. Nas margens continentais, o volume e o tipo de sedimentação siliciclástica fina são controlados pelas variações cíclicas do clima e do nível relativo do mar, que causam alterações no influxo continental e deflagram os processos erosivos e redeposicionais (Jenkyns, 1986; Fig. 4.3).

Nas plataformas continentais caracterizadas por elevados teores de argila e silte dominam os sedimentos hemipelágicos. Em geral, o silte e as argilas são transportadas do continente pela ação eólica, sistemas fluviais ou glaciais. Atualmente, o principal agente de transporte dos sedimentos detríticos do continente para os oceanos é o sistema fluvial, lançando cerca de  $20 \times 10^{12}$  kg/ano de sedimentos. O sistema glacial e eólico, somados, transportam quantidades pouco significativas em relação aos rios, cerca de  $1,6 \times 10^{12}$  kg/ano (Hay, 1998).

Os processos de dispersão eólica e fluvial das argilas são mais abrangentes em termos geográficos do que os processos glaciais. Em climas áridos, a ação do vento é mais efetiva podendo transportar sedimentos por grandes distâncias a partir da área fonte. A ação eólica seleciona sedimentos extremamente finos, geralmente marrom-avermelhados com grande quantidade de quartzo. A quantidade e o tipo de material transportado pelos rios dependem do relevo, da vegetação e do clima (temperatura e taxas relativas de precipitação pluviométrica versus evaporação; Fig. 4.3). Os sedimentos fluviais, não atingem distâncias tão



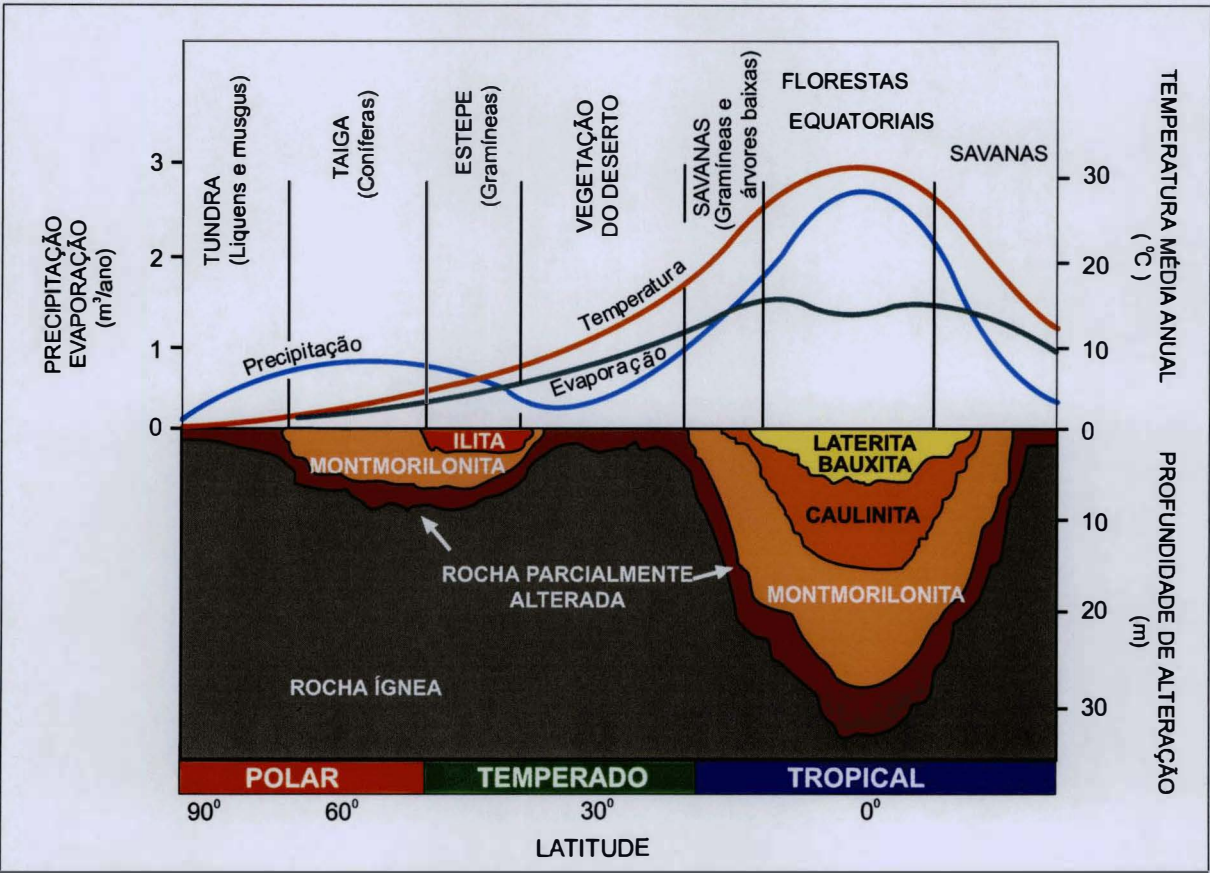


Figura 4.3 - Formação das argilas e do tipo de vegetação em função da latitude, precipitação, temperatura e evaporação. A distribuição e o tipo de argila transportada pela ação do vento e dos rios depende do clima e da área fonte (Modificado de Hay, 1996).

grandes quanto os eólicos, mas os rios de grandes dimensões e os *canyons* submarinos possuem a capacidade de transportar grandes volumes de cargas sedimentares para as regiões abissais (Hay, 1998 e Kennett, 1982).

A produção e o transporte dos sedimentos pela ação direta ou indireta do gelo é mais efetiva somente no Hemisfério Norte. A Antártica, apesar de possuir dimensões bem maiores que o Ártico, contribui com uma quantidade relativamente pequena de sedimentos. No Ártico a dispersão dos sedimentos siltico-argilosos concentra-se, principalmente, na região sub-polar do Atlântico Norte (Hay, 1998 e Kennett, 1982).

## 4.2 SISTEMAS TURBIDÍTICOS DE GRANULOMETRIA FINA

Os turbiditos constituídos por argila, silte e sedimentos biogênicos constituem em uma das fácies de águas profundas mais importantes, sendo identificados em vários poços do DSDP-ODP (Dean *et al.*, 1978; Kelts & Arthur, 1981; Stow, 1984). As seguintes características são diagnósticas das fácies turbidíticas finas: a) gradação normal; b) estruturas sedimentares indicando deposição rápida, com marcas de sola na base e bioturbação restrita ao topo; c) escassez de microfósseis pelágicos; d) mudanças acentuadas no conteúdo de MO e  $\text{CaCO}_3$  (Stow & Piper, 1984 e Piper & Stow, 1991).

Em função da granulometria, da organização interna e da composição, Stow & Piper (1984) e Piper & Stow (1991), subdividiram os turbiditos de granulometria fina em três tipos: silticos, argilosos e biogênicos. Os turbiditos silticos apresentam uma sucessão de estruturas muito similares às aquelas reconhecidas na sequência clássica de Bouma. A base do ciclo é erosiva, com presença de marcas de sola ou carga. Logo acima, ocorrem arenitos muito finos ou siltitos maciços (unidade A). Seguem laminações plano-paralelas e cruzadas (unidades B e C), sendo que nestas unidades a gradação normal já é evidente. Em direção ao topo novamente ocorrem laminações paralelas, porém com lâminas de siltito e argilito alternadas (unidade D), na última unidade do ciclo ocorrem lamitos gradados e bioturbados (unidade E). Finalizando o ciclo estão os depósitos pelágicos (Fig. 4.4-A).

Os turbiditos argilosos constituem-se na parte mais distal dos turbiditos de granulometria grossa, ou ocorrem como depósitos formados originalmente por sedimentos argilosos. Frequentemente são limitados na base e no topo por superfícies erosivas. Piper

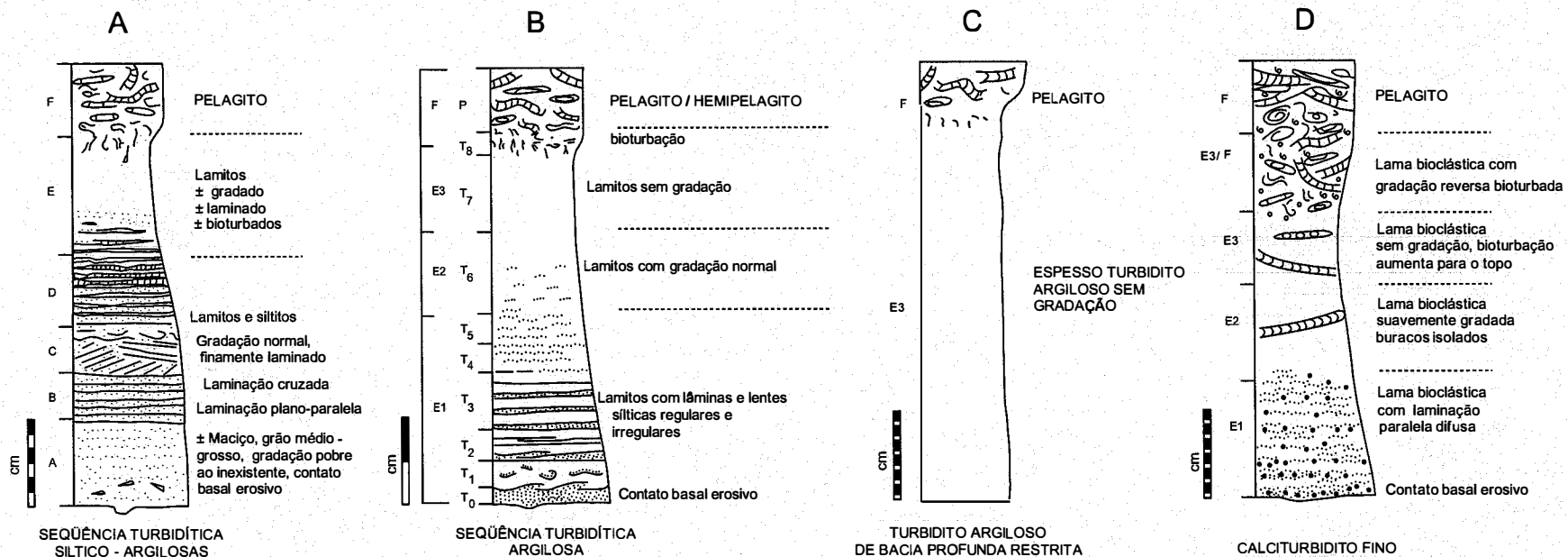


Figura 4.4- Os turbiditos siltico-argilosos apresentam uma sucessão de fácies similares a seqüência clássica de *Bouma*. Quando predominantemente argilosos ou carbonáticos finos apresentam somente as unidades E e F. Dependendo do autor estas unidades podem ser subdivididas em 3 ou mais sub-unidades (Modificado de Stow & Piper, 1984 e Piper & Stow, 1991).

(1978) subdivide o depósito turbidítico argiloso em três unidades: lamitos com lâminas sílticas que em direção ao topo gradam a lentes (unidade E1); lamitos com gradação normal acentuada, dependendo do teor de silte (unidade E2); lamitos sem evidência de gradação (unidade E3). O ciclo encerra com pelagitos-hemipelagitos bioturbados na base (unidade F). De acordo com Stow & Shanmugam (1984, *apud* Stow, 1986), a unidade E1 de Piper (1978) pode ser, eventualmente, subdivida em 6 outras sub-unidades em função da forma e da continuidade das lâminas e lentes de siltito (unidades T0-T5). O critério usado nesta subdivisão é a continuidade e o tamanho da lâminas e das lentes subsequentes. Para estes autores a unidade F, segundo nomenclatura usada por Piper (1978), pode ser subdividida em duas unidades (T8 e P) em função da intensidade da bioturbação (Fig. 4.4-B).

Os turbiditos argilosos sem estrutura ou gradação (domínio da unidade E3), são caracterizados por um limite inferior brusco e presença de bioturbação somente no topo (unidade F). Resultam da expansão de fluxos com alta concentração de lama e redução brusca do gradiente topográfico, freqüentemente ocorrem em bacias pequenas e fechadas (tipo *ponding*; Fig. 4.4-C).

Os turbiditos calcários (calciturbiditos) são compostos por detritos de origem biogênica e apresentam estruturas similares os turbiditos terrígenos. Devido à maior homogeneidade granulométrica, a laminação e gradação freqüentemente são pouco evidentes (unidade E1). Na parte intermediária do ciclo a gradação pode ser mais evidente, mas desaparece em direção ao topo, quando a bioturbação se intensifica (unidades E2 e E3). A transição para a camada pelágica pode ser gradacional, e dependendo das características hidrodinâmica dos fósseis constituintes, inversamente gradada (unidades E3/F; Fig. 4.5-D).

As variações de composição e textura em seqüências turbidíticas freqüentemente são expressas como padrões cíclicos de cores (Stow, 1984 e Dean *et al.*, 1978). Muitos destes padrões são relacionados a processos não periódicos (seqüências autogenéticas ou autocíclicas), porém existem situações em que o mecanismo deflagrador destes eventos é quase-periódico (alocíclico), por exemplo variações climáticas (Einsele & Ricken, 1991). Piper & Stow (1991) subdividem arbitrariamente os ciclos turbidíticos em função da sua dimensão, em megaciclos (maiores que 100 m), mesociclos (variando de 10-100 m) e microciclos (menores que 10 m). Para estes autores, os megaciclos são predominantemente autocíclicos, enquanto os demais tanto podem ser autocíclicos como alocíclicos.

Calciturbiditos e turbiditos siltico-argilosos depositados segundo uma periodicidade compatível com os ciclos de Milankovitch têm sido reconhecidos por vários autores (Dean *et al.*, 1978; Kelts & Arthur, 1981; Haas, 1994; Reijmer *et al.*, 1994). A origem dos calciturbiditos poder ser associadas diretamente às mudanças climáticas e variações relativas do nível do mar de alta frequência. A quantidade de influxo continental, que depende do clima e da variação relativa do nível do mar, controla o nível trófico e a turbidez modulando a produtividade e o tipo de sedimento carbonático gerado. No caso dos turbiditos silticos-argilosos, as causas são diversas, eventualmente associando-se à alternância de períodos secos e úmidos.

## 5. CICLICIDADE EM DEPÓSITOS MARINHOS PROFUNDOS DO CRETÁCEO

Existem basicamente três parâmetros orbitais periódico capazes de modular a quantidade de energia solar que atinge a Terra, segundo uma escala de dezenas de milhares de anos: excentricidade, obliquidade e precessão (Fig. 5.1). A sobreposição destes parâmetros, acrescida dos sinais aperiódicos, determina o comportamento periódico ou “quasi-periódico” das características físicas e químicas das rochas sedimentares, imprimindo nelas um aspecto rítmico, visível em diversos depósitos marinhos de águas profundas (Fig. 5.2).

A variação da excentricidade da órbita elíptica que a Terra descreve em torno do Sol, define o ciclo de excentricidade. A periodicidade média deste ciclo recai, principalmente, em dois valores, 410 e 100 ka. Dois outros períodos importantes são os de 95 e 120 ka.

A obliquidade é a oscilação periódica da inclinação do eixo de rotação da Terra. Caso o eixo de rotação da terra fosse paralelo ao Sol, a energia proveniente deste astro incidiria sobre a Terra indiferentemente ao longo de todo o ano na faixa subtropical, tornando os pólos permanentemente gelados. Devido à inclinação do eixo da Terra, durante o ciclo de translação (movimento circular da Terra em torno do Sol), existem dois momentos em que os hemisférios ficam equidistantes do Sol, denominados de equinócios de primavera e outono; e outras duas situações, nas quais um hemisfério atinge o máximo de proximidade em detrimento do outro que atinge o mínimo de proximidade do Sol, denominados de solstícios de verão e inverno. Nos equinócios a intensidade da energia solar que atinge a Terra é similar nos dois hemisférios, enquanto nos solstícios um dos hemisférios recebe o mínimo de energia o outro recebe o máximo. Durante um ciclo de obliquidade, com duração média 41 ka, podendo variar entre 29 e 54 ka, a inclinação do eixo da Terra oscila entre  $22^{\circ}$  e  $24^{\circ} 30'$ . Quando a inclinação é máxima o inverno em um dos hemisférios, assim como o verão no outro, terá a sua intensidade ampliada, sobretudo nas altas latitudes; opostamente, quando a inclinação for mínima, tanto o verão como o inverno serão atenuados (Fig 5.1).

A precessão refere-se ao movimento circular que o eixo de rotação da terra descreve segundo um plano perpendicular a ele. Este movimento causa o deslocamento dos equinócios ao longo do tempo. No hemisfério sul, segundo o calendário atual, os equinócios ocorrem nos meses de setembro e março; porém, devido ao movimento precessional, estes passarão para os meses de junho e dezembro (Fig 5.1). Por esta razão este fenômeno é



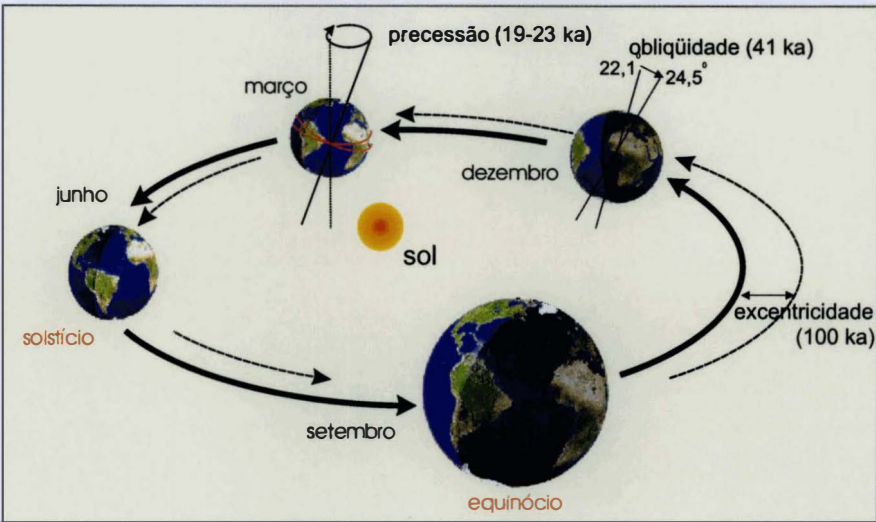


Figura 5.1 - Variações dos parâmetros orbitais da Terra (Modificado de Imbrie & Imbrie, 1979).

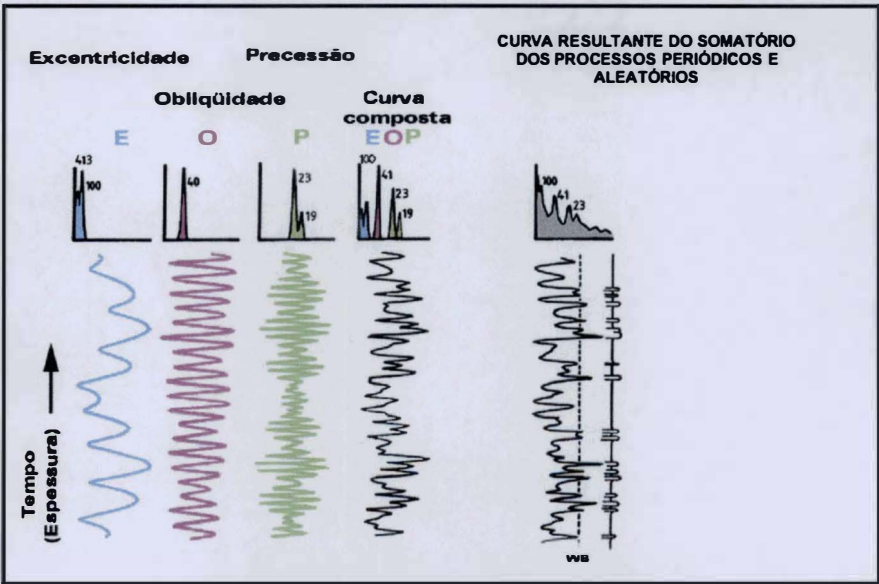


Figura 5.2 - Diagrama esquemático ilustrando a análise espectral dos três principais parâmetros orbitais isoladamente. A superposição destes parâmetros, e o somatório dos processos não periódicos resultam em um registro "quasi-periódico" (Modificado de Einsele & Ricken, 1991).

denominado de precessão dos equinócios e implica diretamente na duração das estações climáticas. Os efeitos do ciclo precessional são registrados, preferencialmente, nas latitudes baixas e intermediárias, e sentidos de maneira oposta nos hemisférios norte e sul; ou seja, períodos de máxima insolação no hemisfério Sul, correspondem a períodos de mínima insolação no hemisfério Norte. Este ciclo interfere na posição geográfica dos cinturões latitudinais e nas características das regiões climáticas que alternam períodos úmidos e secos, como as monções (Barron *et al.*, 1995; Fischer *et al.*, 1990; de Boer & Smith, 1994). A periodicidade do ciclo de Precessão está entre 14 e 28 ka, sendo os valores 19 e 23 ka os mais significativos (de Boer & Smith, 1994).

Segundo Fischer *et al.* (1990) e Einsele & Ricken (1991) a combinação dos três ciclos orbitais faz com que a variação da quantidade média de energia solar incidente sobre a superfície da Terra como um todo, independente da latitude, oscile em torno de 10-12 %. Segundo eles, esta variação não seria suficiente para explicar muitas das mudanças climáticas e oceanográficas responsáveis pela periodicidade dos principais parâmetros geoquímicos e biológicos registrados nas rochas pelágicas e hemipelágicas. Deste modo, esses autores acreditam que as oscilações da energia solar são amplificadas por meio de mecanismos oceânicos e climáticos de retro-alimentação<sup>1</sup> (*oceanic and climatic feedback systems*). Entre estes mecanismos destacam-se: mudanças na magnitude das calotas polares, quantidade de CO<sub>2</sub> atmosférico, latitude e intensidade das monções e cinturões de clima úmido e seco correntes oceânicas, intensidade e posicionamento das áreas de ressurgência e nível relativo dos oceanos. Muitos destes mecanismos interferem diretamente na produção e dissolução dos carbonatos biogênicos, na produtividade primária, na preservação da MO e no influxo continental, determinando a formação de ciclos que podem ser classificados como de produtividade, diluição, dissolução e oxi-redução (Bottjer *et al.*, 1986; Arthur *et al.*, 1986; Einsele & Ricken, 1991; de Boer & Smith, 1994; Ricken, 1993).

As sucessões periódicas de carbonato e margas de águas profundas gerados exclusivamente a partir da flutuação da produtividade primária são raras (Einsele & Ricken, 1991). Para que ocorra um aumento de produtividade são necessárias alterações nas condições oceanográficas que permitam a disponibilização de uma quantidade maior de

<sup>1</sup> Sistemas ou mecanismos de retro-alimentação podem ser compreendidos como mudanças na hidrosfera e atmosfera que se interferem mutuamente, ora como causa, ora como efeito. No Quaternário, por exemplo, durante os períodos glaciais as áreas recobertas por gelo propiciaram o aumento do albedo; isto gerou condições adequadas à formação de mais gelo, que por sua vez ampliou ainda mais o efeito do albedo.

nutrientes na zona fótica. Tanto a ressurgência de águas frias e ricas em nutrientes como o aumento do influxo continental (águas fluviais ricas em nutrientes) podem deflagrar tais condições. Todavia, essas alterações oceanográficas são acompanhadas por mudanças na salinidade, temperatura, oxigenação e quantidade de terrígenos, fazendo com que os ciclos de produtividade ocorram associados aos ciclos de oxi-redução, dissolução ou diluição.

Os ciclos de produtividade têm sido identificados por assembléias oligotáficas de nanofósseis calcários indicativas de alta fertilidade (Erba, 1992 e Cunha & Shimabukuro, 1997), excursões positivas do sinal isotópico do carbono (Takaki & Rodrigues, 1993 e Carmo, 1997) ou simplesmente pelo aumento de carbonato e MO (Arthur *et al.*, 1986). No caso dos nanofósseis, a dissolução de espécies menos resistentes pode também gerar assembléias oligotáficas, dificultando a diferenciação entre os ciclos de dissolução e os de produtividade. Neste caso, um recurso adicional seria observar a preservação das assembléias fossilíferas ao microscópio eletrônico.

Os ciclos de dissolução têm sido caracterizados por associações fossilíferas com abundância, diversidade e preservação baixas. A presença abundante de microcarbonato, como um produto da alteração diagenética dos microfósseis e nanofósseis, pode ser usada como indicativa de dissolução (Roth & Bowdler, 1981; Thierstein & Roth 1991; Erba 1992). Todavia, o contexto deposicional e a evolução geotectônica são os critérios mais confiáveis para identificar ciclos desta natureza. O conhecimento da paleoprofundidade da CCD e da lisoclina é fundamental na identificação de ciclos de dissolução. O controle paleobatimétrico local destas superfícies é feito tanto com base na preservação diferencial dos microfósseis calcários (Berger, 1970), como pela evolução tectônica do sítio deposicional.

A presença de camadas ricas em matéria orgânica adjacentes a depósitos carbonáticos causa a dissolução dos carbonatos finos independente da profundidade. Os produtos da degradação da MO (p. ex., o dióxido de carbono) promovem a dissolução do carbonato; nestes casos os ciclos de dissolução estarão estreitamente relacionados aos ciclos de oxi-redução.

Os ciclos de oxi-redução dependem do balanço entre o suprimento e o consumo de oxigênio, e por isso são relacionados à circulação oceânica e aos processos de respiração e decomposição da MO. O consumo de oxigênio devido à degradação da MO induz à formação de uma zona de mínimo de oxigênio logo abaixo da zona fótica dos oceanos. A espessura, o posicionamento e a intensidade desta zona depende do balanço entre o volume de MO

degradada e da quantidade de oxigênio introduzido pelas correntes oceânicas (Wyrki, 1962; Demaison & Moore, 1980; Hay, 1995). Como a principal fonte de MO nos oceanos é de origem fitoplanctônica, composta principalmente por algas unicelulares que se desenvolvem na zona fótica, a luz e os nutrientes também exercem um controle indireto sobre a zona de mínimo de oxigênio. A outra fonte possível de MO são os fragmentos de vegetais superiores carregados das áreas continentais para os oceanos; porém, a decomposição destes detritos envolve um consumo pequeno de oxigênio. Deste modo, a variação da produtividade primária controla a expansão ou retração da zona de mínimo de oxigênio, podendo causar um considerável desequilíbrio nas relações de consumo e reposição de O<sub>2</sub>.

O conteúdo de oxigênio no fundo oceânico é registrado nas rochas a partir de parâmetros biológicos e geoquímicos. O estudo da bioturbação dos estratos, a quantidade e a origem da MO, os valores de IH, IO e  $\delta^{13}\text{C}$ , além dos processos de acumulação e preservação da MO, auxiliam a caracterização dos ciclos de oxi-redução.

Camadas bioturbadas, com coloração clara, representam períodos de oxigenação normal; em contrapartida, períodos anóxicos ou disóxicos são registrados por camadas laminadas escuras, com COT elevado, ausência de bioturbação e presença de pirita.

Os ciclos de diluição caracterizam-se pela redução relativa do conteúdo carbonático devido à adição de argila, sendo comuns em mares epicontinentais e em áreas da plataforma pouco distantes do continente. O agente de transporte dos sedimentos e as áreas fontes determinam o volume e a composição dos terrígenos. As plataformas situadas em áreas de clima tropical úmido são alimentadas por sistema fluvial com presença de caulinitas, enquanto as regiões de clima árido dominam o suprimento de quartzo de granulometria muito fina transportados pelo sistema eólico (Dean *et al.*, 1978).

A distinção de ciclos de dissolução e diluição nem sempre é simples, mas alguns critérios podem auxiliar: a) diferenças mineralógicas das argilas entre as camadas rica e pobre em carbonato suportam ciclos de diluição; por sua vez, a falta de mudanças composicionais sugere ciclos de dissolução (Dean *et al.* 1978); b) variações na preservação, abundância e diversidade dos organismos calcários indicam o domínio de eventos de dissolução (Diester-Haass, 1991); c) mudanças nas concentrações de elementos químicos associados aos sedimentos detritais continentais (Si, Al, Na, K e Ti) sugerem mudanças na intensidade e origem dos sedimentos introduzidos na bacia, apoiando a hipótese de diluição (Bralower & Thierstein, 1987).

A espessura relativa entre estratos ricos e pobres em carbonato, supondo o mesmo tempo de deposição para cada par de estratos, pode auxiliar na distinção entre ciclos de diluição, dissolução e produção de carbonato (Dean *et al.*, 1978 e Einsele & Ricken, 1991). Os processos de dissolução e produção envolvem uma grande alteração do volume inicial, enquanto a diluição, apesar de necessitar de volumes relativamente elevados de material terrígeno, causa pouca alteração neste volume. Esta idéia encontra-se ilustrada na figura 5.3, onde é demonstrado que a dissolução de 35% do volume de carbonato de uma rocha implica em uma redução de 82% no volume total. Em contrapartida, um aumento de 468 % no volume de argila altera o volume total da rocha em apenas 50%.

Como a dissolução altera consideravelmente o volume inicial da rocha, sendo este parâmetro utilizado na avaliação da taxa de acumulação, torna-se necessário avaliar criteriosamente os efeitos da dissolução. Contudo, como normalmente estes dois processos não ocorrem isolados, a quantificação do domínio de um sobre o outro é uma tarefa bastante difícil.

Cabe ainda ressaltar que dependendo do contexto geológico, a diagênese pode amplificar, obliterar ou distorcer o padrão cíclico. Entretanto, somente em situações muito particulares os processos diagenéticos, por si próprios, geram oscilações periódicas nos depósitos sedimentares (Einsele & Ricken, 1991).



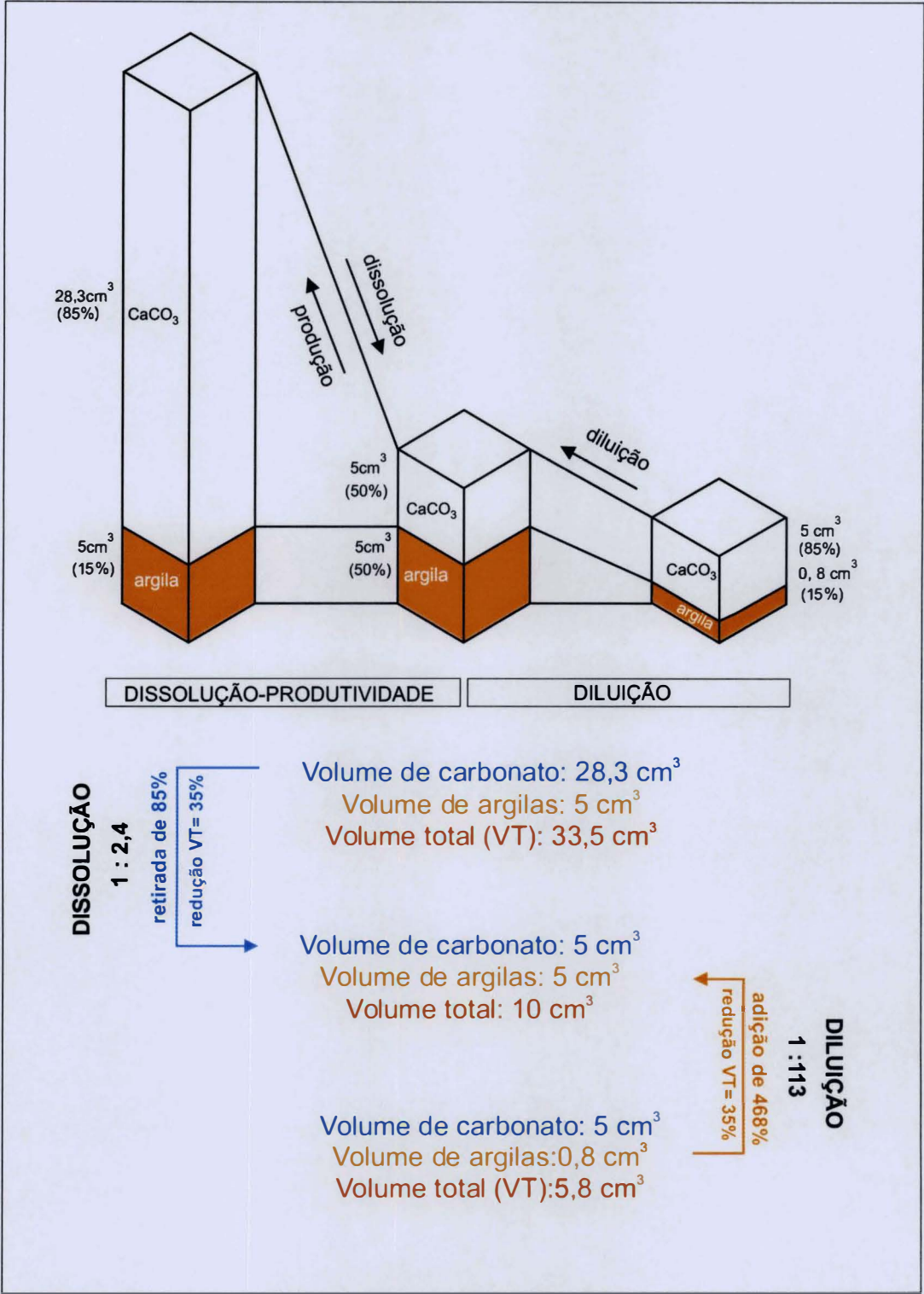


Figura 5.3 - Gráfico mostrando as variações no volume das rochas em função do acréscimo de argila ou da retirada de carbonato. O processo de diluição envolve um grande aporte de sedimentos argilosos para uma pequena alteração no volume; enquanto que a retirada ou acréscimo (produção) de pequenas quantidades de carbonato causam consideráveis mudanças no volume total da rocha (Modificado de Dean *et al.*, 1978).



## 6. ISÓTOPOS DE CARBONO E OXIGÊNIO EM DEPÓSITOS HEMIPELÁGICOS: INDICADORES DE PALEOPRODUTIVIDADE E TEMPERATURA

A utilização dos isótopos de carbono e oxigênio para estimar-se as variações de produtividade e temperatura depende, entre outros parâmetros oceanográficos, da compreensão dos mecanismos que controlam o fracionamento isotópico destes elementos. Outro aspecto importante a ser considerado são os processos pós-deposicionais capazes de alterar os registros primários das razões isotópicas. A dissolução e a cimentação das rochas carbonáticas, por exemplo, afetam consideravelmente os valores do  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{18}\text{O}$  medidos na fração carbonática em rocha total. Dentro deste contexto, o texto a seguir discutirá os fatores primários e secundários que podem causar flutuações dos dados isotópicos do carbono e oxigênio, com enfoque em sucessões sedimentares de águas profundas caracterizadas pela alternância de margas, argilitos e vazas.

### 6.1 ISÓTOPOS DE OXIGÊNIO

O valor do  $\delta^{18}\text{O}$  aferido nas rochas formadas em sistemas fechados, desconsiderando a interferência biológica, é uma função da composição isotópica da água e da temperatura de cristalização dos minerais. A composição isotópica das águas oceânicas está intrinsecamente relacionada com o fracionamento isotópico do oxigênio causado pelo balanço entre os processos de evaporação, precipitação, formação e fusão de gelo. Uma taxa de evaporação superior à de precipitação, da mesma forma que aumenta a salinidade, promove o enriquecimento em  $^{18}\text{O}$ . Por outro lado, o vapor d'água, ou a condensação deste como chuva ou gelo, apresenta-se enriquecido em  $^{16}\text{O}$ . A intensidade destes processos depende do clima, da latitude, e no caso das áreas continentais, da distância do oceano. Deste modo, os processo de evaporação e precipitação tendem a enriquecer o vapor d'água gradativamente em  $^{16}\text{O}$  a partir da região equatorial em direção as latitudes mais altas. De modo similar, quando mais distante da área litorânea mais depletado em  $^{18}\text{O}$  será o vapor d'água presente na atmosfera (Fig. 6.1).

As águas oceânicas de diferentes origens possuem valores isotópicos distintos. As águas provenientes de mares restritos, quentes e salgados, como o Mar Mediterrâneo,

possuem valores de  $\delta^{18}\text{O}$  bastante positivos em relação às águas originadas a partir do degelo da calota polar Antártica. Logo, a composição isotópica dos oceanos reflete as diversas “águas” que o compõe, ainda que exista uma relativa homogeneização dos valores isotópicos devido à mistura de diferentes águas.

Segundo Railsback & Anderson (1989), nos oceanos e mares atuais, em relação às variações de salinidade e composição isotópica das águas superficiais, observam-se duas tendências: uma refere-se às águas hipersalinas dos mares restritos e outra às águas superficiais dos oceanos abertos (Fig. 6.2). O ponto de interseção destas tendências corresponde à salinidade de 35,5 ‰ e  $\delta^{18}\text{O}$  de 0,5 ‰, que são valores deslocados em relação ao valor médio da salinidade e  $\delta^{18}\text{O}$  dos oceanos, que são respectivamente 34,7‰ e 0 ‰. Este valor é inferior aos valores médios correspondentes às principais águas superficiais devido à grande contribuição das águas de fundo, com menor salinidade e  $\delta^{18}\text{O}$  mais negativo. Com esta abordagem os autores querem demonstrar que a determinação do valor médio da composição isotópica das águas dos oceanos pretéritos depende fundamentalmente do conhecimento das características e dos volumes das diferentes massas d'água que compunham a hidrosfera.

Segundo diversos autores durante o Cretáceo não existiam áreas glaciais e o gradiente térmico do planeta era menor que o atual (Barron, 1983; Tolmazin, 1985; Frakes & Francis, 1990; Huber *et al.*, 1995). Em função do gradiente térmico baixo, até pouco tempo a maior parte dos modelos de circulação oceânica atribuíam para o Cretáceo uma circulação lenta, com águas estratificadas e baixa taxa de renovação de águas intermediárias e de fundo (Jenkyns, 1980). Entretanto, de acordo com Brass *et al.* (1982) e Southam *et al.* (1982), no Cretáceo as águas de fundo seriam compostas por águas hipersalinas provenientes da plataforma rasa. Se este último modelo está correto, é provável que o valor isotópico médio dos oceanos, em relação aos dias de hoje estivesse deslocado para valores mais positivos (Railsback & Anderson, 1989).

As alterações nos valores de  $\delta^{18}\text{O}$  seguem uma função linear que permite estimar a paleotemperatura de precipitação do carbonato. Para a calcita, por exemplo, sabe-se que cada 1‰ de decréscimo no valor do  $\delta^{18}\text{O}$  significa um aumento de 4°C na temperatura da água (Marshall, 1992). Relações similares foram estabelecidas para a dolomita e para a aragonita. Os princípios físico-químicos do fracionamento isotópico independem do tipo de mineral ou

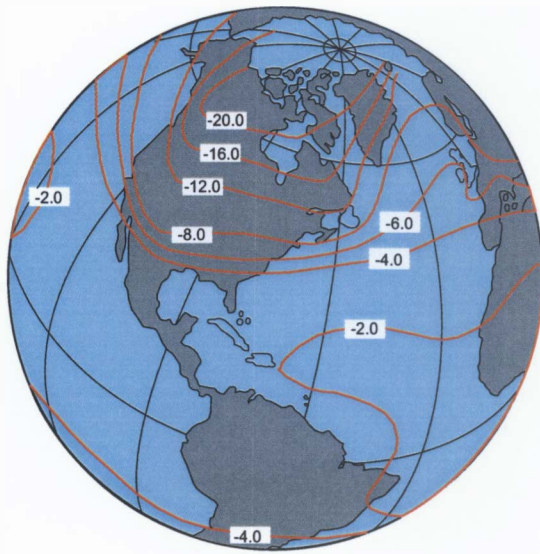


Figura 6.1 - Média anual das Isodeltas (linha que ligam valores similares de  $\delta^{18}\text{O}$ ) referentes à precipitação. Projeção geográfica centrada na América do Norte. Os valores tornam-se gradativamente mais negativos em direção aos pólos, e ao interior das áreas continentais (Modificado de Tucker & Wright, 1990).

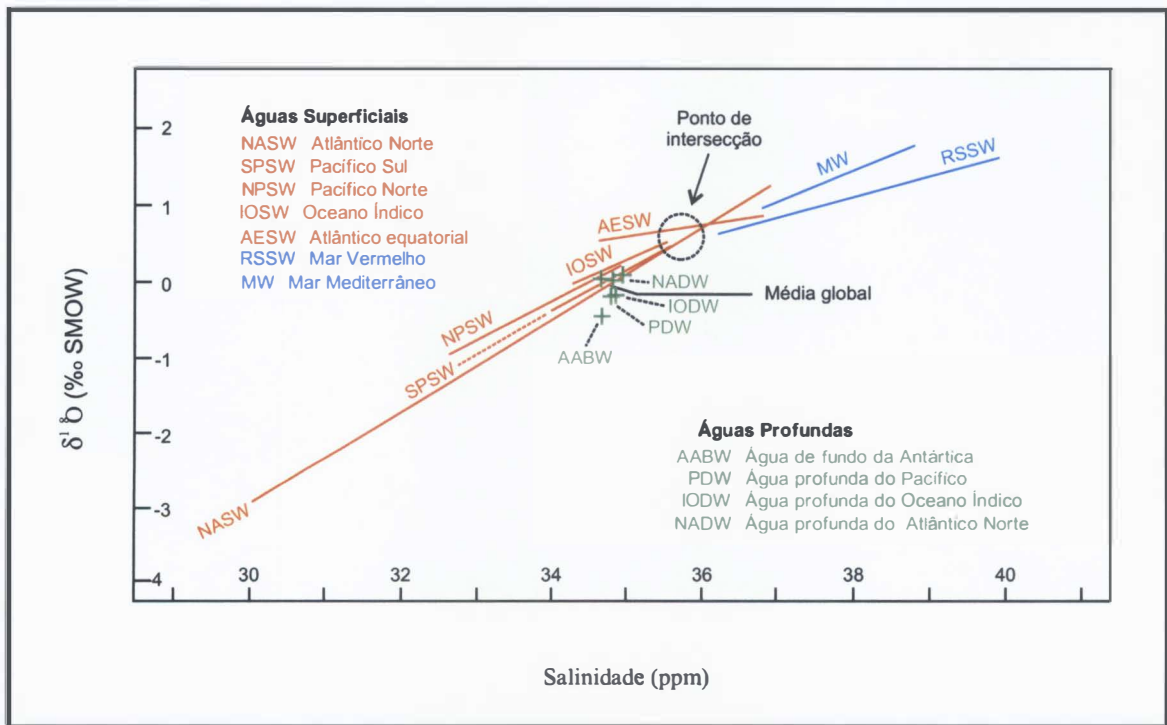


Figura 6.2 - Relação entre a salinidade e o valor isotópico das águas oceânicas atuais. Observa-se que o ponto de interseção das águas hipersalinas e superficiais não coincide com a média global; ele está ligeiramente deslocado sobre o eixo das águas de menor salinidade devido à contribuição das águas de fundo. No Cretáceo, a contribuição de águas hipersalinas deve ter sido maior, logo o  $\delta^{18}\text{O}$  médio das águas oceânicas teria sido mais elevado (Modificado de Railsback & Anderson, 1989).

da sua origem, porém os valores isotópicos em uma dada temperatura alteram-se conforme o mineral (Fig. 6.3).

A interferência biótica na formação dos carbonatos, em relação à precipitação inorgânica, não altera consideravelmente os valores isotópicos do  $\delta^{18}\text{O}$ . No caso das vazas oceânicas ricas em nanofósseis e sem evidência de diagênese, a variação relativa da temperatura das águas superficiais pode ser estimada diretamente a partir do  $\delta^{18}\text{O}$  da rocha total. Porém, o fator biológico pode se tornar relevante nas associações bióticas com alta diversidade de organismos de diferentes grupos taxonômicos (Marshall, 1992).

O  $\delta^{18}\text{O}$  medido em rochas ricas em nanofósseis constitui em um indicador de paleotemperatura das águas superficiais bastante eficiente. Já a análise do  $\delta^{18}\text{O}$  em rochas ricas em foraminíferos, que também são importantes constituintes dos carbonatos pelágicos e hemipelágicos, pode apresentar alguns problemas. Nos foraminíferos planctônicos o sinal isotópico varia acentuadamente de uma espécie para outra. Algumas espécies deste grupo segregam a suas carapaças exclusivamente em águas com determinados valores de densidade e teor de clorofila (Fairbanks & Wiebe, 1980), enquanto que outras desenvolvem suas carapaças ao longo de diferentes profundidades e temperaturas. Deste modo, a calcita precipitada reflete diferentes massas de água (Duplessy *et al.* 1981). Em contrapartida, a maior parte dos nanofósseis, além de serem menos susceptíveis aos processos de dissolução e recristalização, formam suas estruturas calcíticas somente na parte superior da zona fótica dos oceanos. Todavia, enquanto que a tarefa de isolar indivíduos de foraminíferos de uma mesma espécie é facilmente exequível, a seleção dos nanofósseis é praticamente impossível em face de dimensão extremamente reduzida destes organismos planctônicos.

Levando-se em conta as dificuldades de trabalhar com espécies isoladas de nanofósseis, e considerando a importância de aferir o “efeito vital”; ou seja, o fracionamento isotópico peculiar a cada espécie, Dudley *et al.* (1986) estudaram o fracionamento isotópico de oito espécies de cocolitoforídeos cultivados em laboratório. Em função do valor isotópico, estas espécies foram subdivididas em dois grupos, sendo um deles isotopicamente mais pesado do que o outro cerca de 4-5 ‰. O paralelismo entre as linhas que representam a variação isotópica dos cocolitoforídeos em função da temperatura comprova que o deslocamento causado pelo “efeito vital” pouco interfere nas relações qualitativas da temperatura versus o sinal isotópico. Entretanto, o valor do  $\delta^{18}\text{O}$  dependerá da espécie dominante na associação (Fig. 6.4). Os autores salientam que os mecanismos relacionados ao

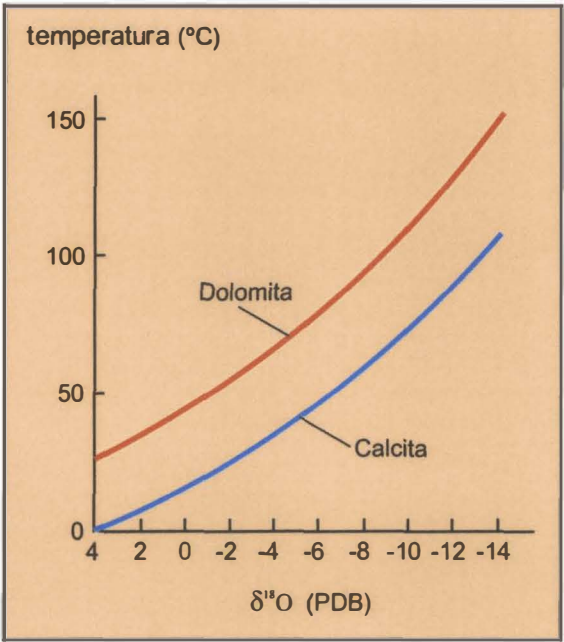


Figura 6.3 - Comparação entre os valores de  $\delta^{18}\text{O}$  da dolomita e da calcita em relação à variação de temperatura para cristais precipitados a partir de águas com o mesmo valor isotópico. O  $\delta^{18}\text{O}$  da dolomita é cerca de 4 ‰ mais alto que o da calcita, para a mesma temperatura (Modificado de Tucker & Wright, 1990).

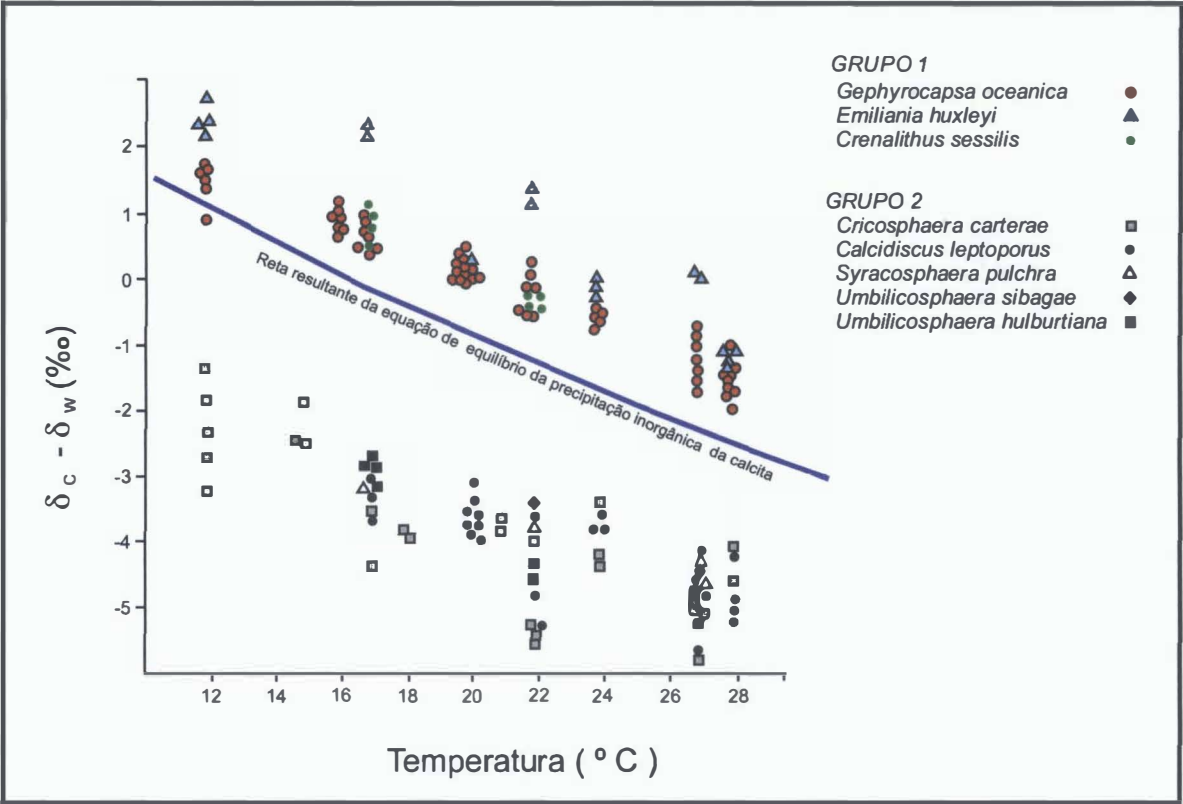


Figura 6.4 - Comportamento do  $\delta^{18}\text{O}$  de várias espécies de cocolitos cultivados. Cada ponto representa uma cultura algálica individual. A composição isotópica dos organismos é calculada como  $\delta\text{C} - \delta\text{W}$ , onde:  $\delta\text{C} = \delta^{18}\text{O}$  do cocolito (padrão PDB), e  $\delta\text{W} = \delta^{18}\text{O}$  da água onde o organismo é cultivado (padrão SMOW). As espécies de cocolitos do grupo 1, independente da temperatura considerada, são isotopicamente mais pesados que as do grupo 2 (Modificado de Dudley *et al.*, 1986).

fracionamento isotópico feito por esses organismos são múltiplos e complexos, incluindo as características metabólicas e fisiológicas, tipo de respiração, fotossíntese e nível trófico.

Conclui-se que os valores isotópicos primários do oxigênio registrados em carbonatos hemipelágicos e pelágicos, sobretudo nas vazas oceânicas compostas por nanofósseis, são representativos das alterações de temperatura. Entretanto, frequentemente os processos diagenéticos associados ao soterramento e à compactação causam substanciais alterações nestes valores. Em seções carbonáticas de águas profundas o aumento do soterramento causa inicialmente a perda de 60 a 80% da porosidade devido à expulsão da água (*dewatering*). Posteriormente a redução de porosidade passa a ser controlada pelo processo de cimentação (Tucker & Wright, 1990). Estas mudanças causam uma redução dos valores de  $\delta^{18}\text{O}$ , e são interpretadas como produto da litificação da rocha sob condições crescentes de temperatura (Matter *et al.*, 1975 e Wetzel, 1989).

A presença de argila em carbonatos pelágicos reduz o potencial de cimentação. Sedimentos mais argilosos são litificados por compactação e perda contínua de água, sem reações de dissolução ou cimentação (Tucker & Wright, 1990). Deste modo, deve-se considerar que o sinal isotópico do  $\delta^{18}\text{O}$  pode variar em função do teor de argila. Nas margas os valores de  $\delta^{18}\text{O}$  sofrem uma alteração menor durante o soterramento, enquanto que nos carbonatos pouco argilosos o  $\delta^{18}\text{O}$  torna-se progressivamente mais negativo com o aumento da cimentação (Baltuck, 1983).

Thierstein & Roth (1991), estudando os ritimitos do Jurássico e do Cretáceo, onde o teor de  $\text{CaCO}_3$  é muito variável, observaram que os processos de dissolução e cimentação, causam modificações no  $\delta^{18}\text{O}$ . Segundo estes autores, o sinal isotópico primário está preservado nas margas e argilitos, enquanto que nos carbonatos a dissolução e recristalização dos nanofósseis, sob temperaturas mais elevadas, causaram o deslocamento do  $\delta^{18}\text{O}$  para valores menores.

Outro processo secundário comum em vazas depositadas sob taxa de acumulação muito reduzidas, é a precipitação de cimento induzida pela ação de correntes frias de fundo. Nesta situação, de maneira oposta à anterior, ocorre um enriquecimento de  $^{18}\text{O}$ , como reflexo da precipitação do cimento em temperaturas menores (Schalager & James, 1978 e Tucker & Wright, 1990).

A dissolução e a cimentação associada ao ingresso de fluídos externos (sistemas abertos), também causam alterações isotópicas acentuadas. Dependendo da natureza e da



extensão do processo, o oxigênio é normalmente mais afetado que o carbono. Enquanto que o carbono do cimento provém da dissolução e re-precipitação dos constituintes da rocha, com pouca contribuição do fluido externo, o sinal isotópico do oxigênio depende em grande parte da composição isotópica e da temperatura do fluido externo (Marshall, 1992).

Estudos ao MEV têm demonstrado que a interpretação do sinal isotópico em carbonatos, no caso de análises feitas em rocha total, depende do grau de cimentação dos componentes bióticos da rocha. Mitchell *et al.* (1997), estudando os carbonatos de Dover, Inglaterra, demonstram que o cimento precipitado com influência de águas meteóricas nas carapaças de foraminíferos e ostracodes são isotopicamente mais leves tanto para o  $\delta^{13}\text{C}$  como para o  $\delta^{18}\text{O}$ . O preenchimento das carapaças com cimento altera os resultados isotópicos primários medidos em rocha total, forçando os valores de  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{18}\text{O}$  à uma covariação positiva induzida pela cimentação das carapa (Fig. 6.5).

A formação de dolomita, processo comum nas rochas carbonáticas hemipelágicas, também causa alterações no sinal isotópico do oxigênio. Segundo Tucker & Wright (1990), o  $\delta^{18}\text{O}$  da dolomita em relação à calcita é de 1 a 7 ‰ mais positivo, pressupondo a formação de ambos em equilíbrio, ou seja, a partir do mesmo fluido e temperatura (Fig. 6.3). Entretanto, apesar da freqüente coexistência destes minerais, normalmente eles são precipitados a partir de fluidos distintos e sob temperaturas diferentes. Logo, a quantificação do  $\delta^{18}\text{O}$  depende da intensidade do processo de dolomitização. Cada modelo de dolomitização implica em fluidos com características distintas (salinidade, temperatura de cristalização, teor de MO). Segundo Tucker & Wright (1990), atualmente, acredita-se que a dolomita formada em seqüências pelágicas é autigênica. O mineral seria precipitado como cimento a partir da água de poro, sob salinidade marinha normal, mas em presença de teores elevados de  $\text{CO}_2$  proveniente da decomposição da MO. Por lado, segundo os autores, a dolomitização de carbonatos depositados em águas mais rasas, associa-se a diversos outros processos, como por exemplo, percolação de águas meteóricas ou hipersalinas.

## 6.2 ISÓTOPOS DE CARBONO

Os maiores reservatórios naturais de carbono do planeta são a biosfera, os oceanos, a atmosfera, e as rochas carbonáticas e ricas em MO. As trocas entre estes

| Amostra | Descrição   | Camada | δ <sup>13</sup> C | δ <sup>18</sup> O |
|---------|---|--------|-------------------|-------------------|
| 1       | Cimento Calcítico   | 3      | +2.543            | -6.241            |
| 2       | <i>Cytherella ovata</i> (ostracode - preenchido com cimento)                    | 3      | +2.919            | -5.638            |
| 3       | <i>Bairdoppilata pseudoseptentrionalis</i> (ostracode - preenchido com cimento) | 3      | +2.775            | -5.551            |
| 4       | <i>Laevidentalina</i> sp. (Foraminífero - preenchido com cimento)               | 3      | +2.687            | -5.207            |
| 5       | <i>Lenticulina</i> sp. (Foraminífero - preenchido com cimento)                  | 3      | +3.429            | -4.339            |
| 6       | <i>Lenticulina</i> sp. (Foraminífero - preenchido com cimento)                  | 3      | +3.418            | -3.598            |
| 7       | <i>Bairdoppilata pseudoseptentrionalis</i> (ostracode - sem preenchimento )     | 3      | +3.3.69           | -2.980            |
| 8       | <i>Lenticulina</i> sp. (Foraminífero - preenchido com cimento)                  | 3      | +3.832            | -2.451            |
| 9       | <i>Cytherella ovata</i> (ostracode - sem preenchimento)                         | 4      | +4.291            | -1.428            |
| 10      | <i>Lenticulina</i> sp. (foraminífero - sem preenchimento)                       | 4      | +4.165            | -1.374            |

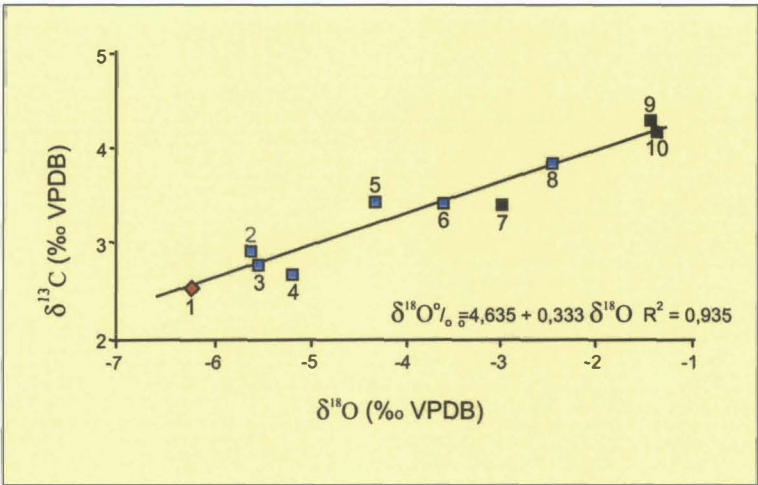


Figura 6.5 - Análise de  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{18}\text{O}$  em carapaças de foraminíferos e ostracodes coletadas nas camadas 3 e 4 da margem *Plenus* em Dover na Inglaterra. O processo de cimentação pela entrada de águas de origem meteórica desloca o  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{18}\text{O}$  das carapaças de foraminíferos e ostracodes para valores mais negativos. Observa-se a covariação positiva entre o  $\delta^{13}\text{C}$  e o  $\delta^{18}\text{O}$ . O cimento e os exemplares preenchidos com cimento são isotopicamente mais leves (Modificado de Mitchell *et al.*, 1997).

reservatórios, denominada de ciclo do carbono, determinam o valor isotópico dos compostos de carbono dissolvidos nas águas dos oceanos e carbonatos precipitados a partir destas águas (Weissert, 1989). O  $\text{CO}_2$  é incorporado pelas águas oceânicas por meio de trocas gasosas na interface água/ar. A fotossíntese e a precipitação biogênica de carapaças transferem o carbono da atmosfera e das águas oceânicas para a biosfera. Com a decomposição da matéria orgânica, dissolução e abrasão das rochas carbonáticas biogênicas uma grande parte do carbono retornam ao sistema água/ar (Fig. 6.6).

O carbono inorgânico dissolvido nas águas superficiais possui valores de  $\delta^{13}\text{C}$  em torno de 0 ‰, porém como a MO de origem marinha, formada às expensas da fotossíntese na zona fótica, é consideravelmente mais negativa ( $\delta^{13}\text{C} = -23\text{‰}$ ), o carbonato biogênico tende a tornar-se mais pesado ( $\delta^{13}\text{C} = +1\text{‰}$ ). O reequilíbrio é atingido devido à oxidação da MO que inicia imediatamente após a morte dos organismos sob condições normais de oxigenação, repondo às águas dióxido de carbono relativamente enriquecido em  $^{12}\text{C}$  (Fig. 6.6).

Os valores isotópicos do carbono em compostos de origem orgânica refletem a composição isotópica dos compostos inorgânicos dissolvidos na massa d'água, mudanças no valor isotópico dos reservatórios globais de carbono e nos processos de transformação de compostos inorgânicos em orgânicos (Scholle & Arthur, 1980). As mudanças nas características dos reservatórios de carbono são gradativas e envolvem grandes intervalos de tempo. Segundo vários autores (Arthur *et al.* 1985; Popp *et al.* 1989; Freeman & Hayes, 1992), os valores do  $\delta^{13}\text{C}$  da matéria orgânica de origem marinha do mesocretáceo são cerca de 5-7 ‰ mais negativos em relação aos dias de hoje. A principal causa apontada para esta alteração no ciclo do carbono é a elevada pressão de  $\text{CO}_2$  do Cretáceo (Larson, 1991 e Caldeira & Rampino, 1991).

As alterações locais e globais nos valores isotópicos das massas d'água podem ser relacionadas às mudanças faunais, florísticas e à retirada da MO do sistema antes do início efetivo da sua oxidação. Neste caso, o carbonato inorgânico dissolvido nas águas superficiais torna-se mais positivo, influenciando a composição isotópica do carbonato biogênico e da MO. Nesta situação os valores mais positivos de  $\delta^{13}\text{C}$  da MO são reflexos da intensificação da produtividade primária e da redução dos processos de degradação da MO.

No que diz respeito à alteração diagenética do  $\delta^{13}\text{C}$ , sabe-se que as mudanças causadas pelo soterramento e compactação são mínimas. Segundo Enrich *et al.* (1970, *apud* Scholler & Arthur, 1980) a composição isotópica do carbono não sofre grandes alterações

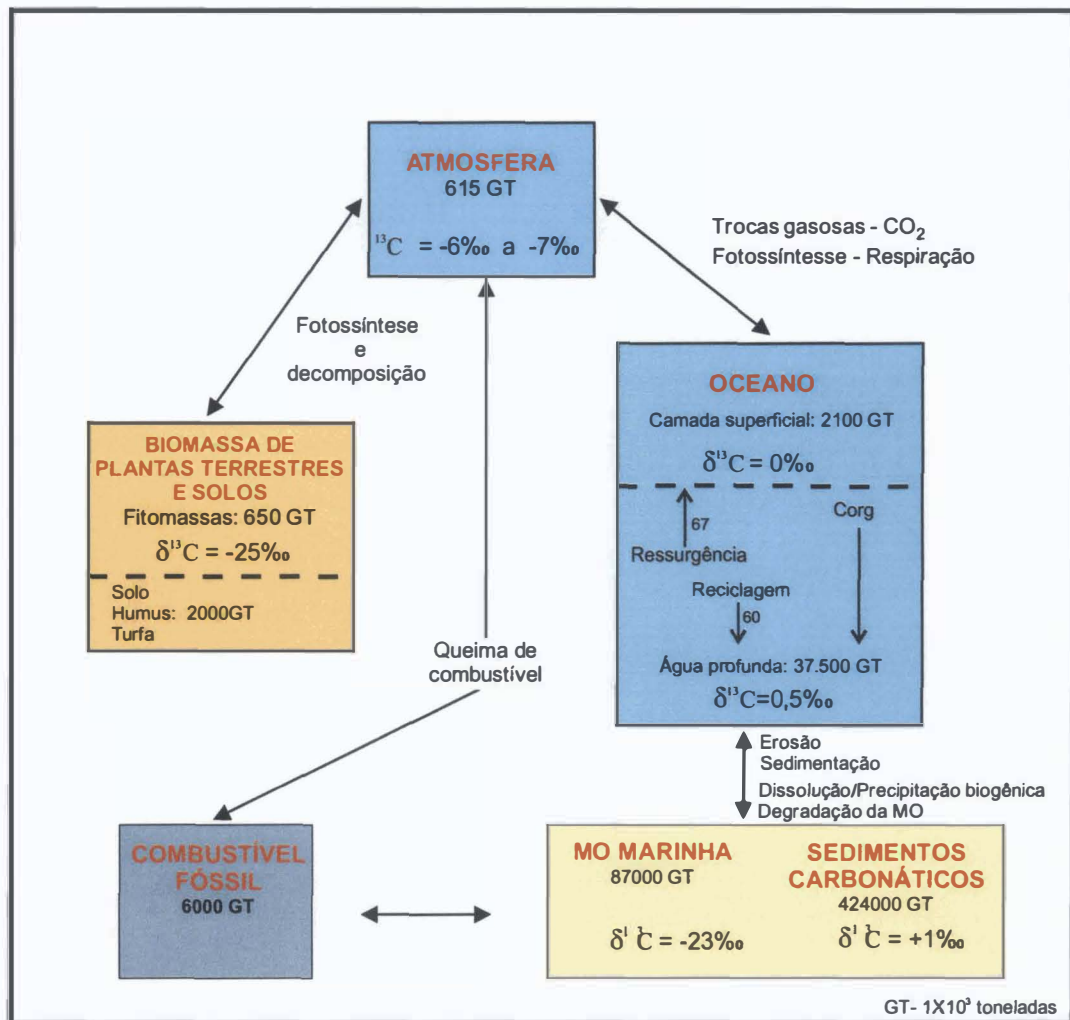


Figura 6.6 - Processos e quantidades de carbono transferidas da atmosfera para os oceanos e biosfera (ciclo do carbono). Observa-se mudanças nos valores isotópicos do carbono durante a transformação dos compostos inorgânicos para orgânicos (Modificado de Weissert, 1989).

durante a diagênese porque o volume de carbono das rochas carbonáticas é muito superior à quantidade deste elemento introduzida pelos fluídos nos espaços intergranulares. Adicionalmente, o fracionamento do carbono não depende da temperatura.

Por outro lado, os processos diagenéticos relacionados à degradação da MO em ambientes anóxicos-disóxicos, próximo à interface água-sedimento, causam significativas alterações no  $\delta^{13}\text{C}$  dos carbonatos. De acordo com Marshall (1992), neste caso, os valores isotópicos de  $\delta^{18}\text{O}$  não são muito afetados, mas o  $\delta^{13}\text{C}$  pode adquirir valores com grande variabilidade.

Segundo Tucker & Wright (1990), a oxidação da MO causa mudanças pouco acentuadas do  $\delta^{13}\text{C}$ . Contudo, a sulfato-redução e fermentação da MO afetam drasticamente o sinal isotópico das rochas. Em sistemas anóxicos relativamente fechados, onde os produtos da sulfato-redução da MO induzem à dissolução da fração carbonática fina, o cimento precipitado a expensas do carbonato dissolvido é isotópicamente leve. Em contrapartida, quando o processo de degradação da MO é a metanogênese, o  $\text{CO}_2$  produzido é isotopicamente positivo, em detrimento do metano que é extremamente depletado em  $^{13}\text{C}$  (Fig. 6.7).

Estas alterações são ainda mais acentuadas em rochas ricas em dolomita. O cimento dolomítico precipitado na zona de metanogênese adquire valores de  $\delta^{13}\text{C}$  muito positivos (em torno + 9,8 ‰). Em contrapartida, se a precipitação da dolomita ocorrer na zona de sulfato-redução o sinal isotópico do carbono pode atingir valores extremamente negativos, menores que -16 ‰ (Tucker & Wright, 1990).

Thierstein & Roth (1991) trabalhando em depósitos de vazas de nanofósseis com argilitos intercalados, associaram as variações do sinal isotópico do carbono às mudanças litológicas e aos processos de degradação da MO. Segundo estes autores, foram reconhecidas duas situações distintas. Na primeira, o sinal isotópico dos argilitos permaneceu inalterado e o valor isotópico dos carbonatos foi deslocado para valores mais negativos. A causa do deslocamento do  $\delta^{13}\text{C}$  foi relacionada à dissolução pós-deposicional da fração carbonática fina sob influência da sulfato-redução da MO, seguida da reprecipitação de microcarbonato isotopicamente mais leve. Na segunda situação, o sinal isotópico das vazas permaneceu inalterado, enquanto que os produtos da metanogênese da MO induziram uma dissolução quase completa da fração carbonática fina dos argilitos. Neste caso, o pouco carbonato que restou apresenta o  $\delta^{13}\text{C}$  deslocado para valores mais positivos.

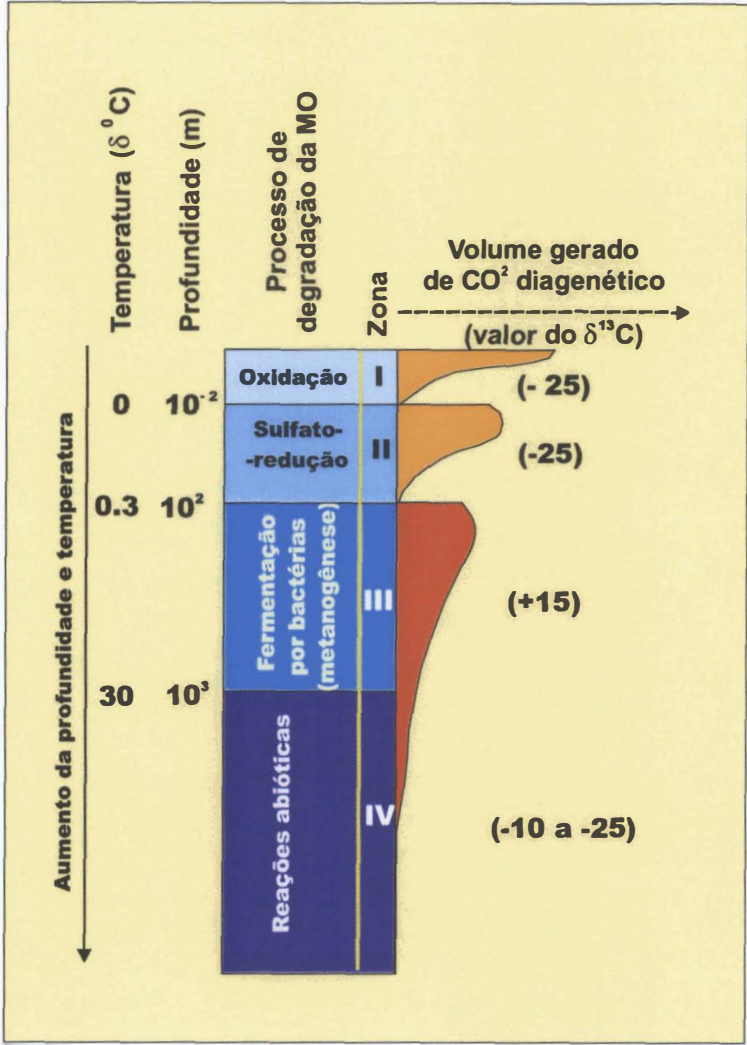


Figura 6.7 - Volume e composição isotópica do carbono do CO<sub>2</sub> liberado durante os processos de degradação da MO. A degradação da MO pode ocorrer segundo uma reação de **oxidação** ( $\text{CHO} + \text{O}_2 = \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$ ); **sulfato-redução** ( $\text{CHO} + \text{SO}_4 = \text{HS} + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$ ) ou **fermentação (metanogênese)**. Neste último caso, ocorre a formação de gás metano biogênico que pode seguir dois caminhos: fermentação do acetato ( $\text{CH}_3\text{COOH} = \text{CH}_4 + \text{CO}_2$ ), ou redução do dióxido de carbono ( $\text{CO}_2 + 8(\text{H}) = \text{CH}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$ ). No primeiro caso o δ<sup>13</sup>C do CH<sub>4</sub> é muito negativo, e o δ<sup>13</sup>C do CO<sub>2</sub> positivo (Modificado de Irwin *et al.*, 1977).



Conclui-se, que os resultados das análises do  $\delta^{13}\text{C}$  em carbonatos ou margas intercalados com rochas ricas em MO podem estar extremamente alterados. Isto depende do processo, estágio de degradação MO, intensidade de dissolução e cimentação induzida por este processo.

## 7. NANOFÓSSEIS CALCÁRIOS DO CENOMANIANO-TURONIANO: PALEOECOLOGIA, PALEOBIOGEOGRAFIA, BIOESTRATIGRAFIA E SISTEMÁTICA.

A utilização dos nanofósseis calcários em estudos paleoecológicos e paleobiogeográficos é de certa forma bastante recente. Na década de 70 poucos trabalhos reconheciam a existência de associações destes fósseis específicas de determinados ambientes ou províncias biogeográficas (Thierstein, 1976 e Perch-Nielsen, 1979). Somente nos anos 80 é que surgiram os primeiros estudos integrados de paleoecologia-paleobiogeografia com enfoque nos nanofósseis (Roth & Bowdler, 1981; Roth & Krumbach, 1986; Watkins, 1989; Erba, 1990; Busson & Noël, 1991; Cunha & Koutsoukos, 1998).

Apesar do grande número de trabalhos publicados sobre a paleoecologia dos nanofósseis nos últimos anos, pouco ainda se sabe sobre o comportamento deste grupo diante das alterações de salinidade, temperatura e nível trófico. Mesmo assim, alguns grupos têm sido associados a condições paleoecológicas específicas: *Zeugraddotus erectus* e *Biscutum constans* são considerados indicadores de condições eutróficas (Roth & Bowdler, 1981; Roth & Krumbach, 1986; Watkins, 1989; Erba, 1990; Williams & Bralower, 1995; Windley, 1995); para muitos autores os gêneros *Nannoconus* e *Braarudosphaera* são típicos de ambientes neríticos rasos (Roth & Krumbach, 1986; Watkins, 1989; Erba, 1990; Busson & Noël, 1991, Windley, 1995), ainda que outros contestem esta interpretação, concluindo que os principais parâmetros controladores da abundância destes gêneros são o nível trófico e a salinidade (Bukry, 1978; Cunha & Shimabukuro, 1997; Cunha & Koutsoukos, 1998); a espécie *Eprolithus floralis* tem sido considerada como indicativa de águas frias, porém, o enriquecimento desta espécie pode ocorrer devido à dissolução seletiva de outras espécies menos resistentes (Bralower, 1988; Gorostidi & Lamolda, 1994); As associações dominadas por *Watznaueria barnesae*, tanto podem sugerir intensa dissolução como ambientes de fertilidade reduzida (Thierstein, 1976; Roth & Krumbach, 1986; Williams & Bralower, 1995; Windley, 1995). As interpretações paleoecológicas complementares sobre os principais grupos taxonômicos dos nanofósseis e dos cocolitoforídeos podem ser obtidas em Antunes (1998) e Windley (1995).

De um modo geral, aceita-se que a maior parte dos nanofósseis é cosmopolita, porém, o domínio de determinados grupos sobre outros em função da latitude, permite

caracterizar diferentes províncias biogeográficas. Em decorrência da centralização dos estudos biogeográficos dos nanofósseis do Turoniano e do Cenomaniano em seções boreais, que correspondem às bacias localizadas em paleolatitudes altas do hemisfério norte, e seções tetianas, localizadas no sul da Europa e norte da África, é possível que exista uma certa distorção na caracterização e delimitação das províncias com base neste grupo fóssil.

As províncias biogeográficas do Cretáceo são subdivididas segundo critérios arbitrários. No caso específico do Oceano Atlântico Sul, as áreas localizadas nas altas latitudes têm sido classificadas como pertencentes à província Austral, enquanto que a parte setentrional tanto pode ser incluída na província tetiana, como pode ser considerada como uma província independente. Dias-Brito (1995) discorre sobre os diferentes critérios utilizados para definir os limites da província tetiana, e sobre a evolução desta província paleoceanográfica durante o Cretáceo. Por fim, este autor propõe a inserção dos segmentos equatorial e setentrional do Atlântico Sul, situados ao norte do Platô de São Paulo e da Elevação de Walvis, no domínio tetiano durante o neoaptiano-Albiano. Um dos principais critérios utilizados pelo autor é a distribuição paleogeográfica dos pitonelídeos (ver capítulo 3). Burnett (1998) lista os principais trabalhos paleogeográficos de nanofósseis do Cretáceo Superior e propõe a delimitação de províncias de acordo com a tabela 7.1. Segundo esta proposta, as áreas abordadas neste estudo, com exceção do poço DSDP-511 que está na província Austral, pertencem à província denominada de "intermediária sul", ou seja, uma faixa latitudinal entre as províncias do Tétis e a Austral.

| PROVÍNCIA - PALEOLATITUDE           | PAÍSES INCLUÍDOS   |
|-------------------------------------|--|
| Boreal - > 50° N                    | Dinamarca, Alemanha, Norte do Reino Unido, Mar do Norte, Norte do EUA.                               |
| Intermediária - entre 50° N e 45° N | Norte da França, Sul da Inglaterra, Holanda, Bulgária, faixa intermediária do EUA.                   |
| Tetiana - entre 45° N e 10° S       | Caribe, Sul do EUA, Sul da Europa, Norte da África, Arábia.  |
| Intermediária - entre 10° S e 35° S | Parte norte e setentrional da América do Sul, parte central da África, Madagascar, Índia, Austrália. |
| Austral - > 35° S ou 40° S          | Sul da América do Sul, Sul da África, Nova Zelândia, Platô das Malvinas, Antártica.                  |

Tabela 7.1 - Definição das províncias biopaleogeográficas de nanofósseis segundo Burnett (1998).

As espécies que compõem as associações de nanofósseis identificadas nos poços DSDP-364, DSDP-356, DSDP-530A, e nas bacias de Santos e Sergipe, são muito similares àquelas reconhecidas na província Tétis. Entretanto, interpreta-se que somente no poço DSDP-364, e talvez na Pedreira Votorantim da Bacia de Sergipe, as associações de nanofósseis não encontram-se acentuadamente alteradas devido à dissolução. Nos demais, interpreta-se que ocorreu uma intensa dissolução dos carbonatos finos, incluindo as espécies de nanofósseis menos resistentes aos processos de dissolução e recristalização. O DSDP-511 difere dos demais poços e seções aflorantes por apresentar algumas espécies exclusivas da região Austral, e porcentagens diferenciadas de alguns *taxa*. A associação recuperada neste poço pode ser considerada como representativa da província Austral (Wise, 1984).

Duas características tornam o poço DSDP-511 diferente dos demais: a quantidade relativamente elevada de *Ahmullerella octoradiata*, *Kamptenerius magnificus* e *Biscutum* spp., e a ocorrência exclusiva das espécies *Lapideacassis marie*, *Seribiscutum primitivum* e *Thierstenia ecclesiastica* (Anexo 1).

Segundo Roth & Krumbach (1986) em várias localidades do Oceano Atlântico as assembléias nanofossilíferas do Cenomaniano estão intensamente modificadas por dissolução. De acordo com estes autores estas modificações relacionam-se com a paleobatimetria, influxo de águas hipersalinas e depósitos com alto teor de MO. Como será discutido nos capítulos seguintes, a consideração feita por Roth & Krumbach (1986) é de fato válida para algumas seções do Cenomaniano Superior e Turoniano. Como exceção teríamos os poço e os depósitos carbonáticos da Bacia de Sergipe e os poços DSDP-364 e DSDP-511.

Apesar da grande similaridade das associações de nanofósseis recuperadas nos poços DSDP-530A, DSDP-356, DSDP-364 e nas áreas estudadas nas bacias de Santos e Sergipe, observam-se diferenças acentuadas de abundância, diversidade e preservação como reflexo de condições ambientais um pouco diferentes. O poço DSDP-530A, situado em uma região mais profunda e caracterizado por teores altos de MO, apresenta um grande número de amostras estéreis ou com diversidade e preservação muito reduzida. No poço DSDP-356 a diversidade e a abundância são relativamente elevadas no Coniaciano inferior e Turoniano médio-superior, porém sofrem um decréscimo acentuado no Turoniano inferior, caracterizado por uma sucessão de carbonatos e folhelhos negros. No poço DSDP-364, a preservação, diversidade e abundância variam de moderada a alta. Os poços e afloramentos estudados das bacias de Sergipe e Santos possuem diversidade e abundância extremamente baixas, com

exceção da seção estudada em detalhe na Pedreira Votorantim. Nesta pedreira a sucessão rítmica de margas e carbonatos é caracterizado pela ocorrência nas margas de associações monoespecíficas bem preservadas de *Eprolithus floralis*. Interpreta-se este registro como produto de flutuações nas condições ambientais, ainda que estas tenham sido amplificadas pelo processo de dissolução.

A similaridade das associações de nanofósseis do Cenomaniano Superior e Turoniano reconhecidas nos poços DSDP-530A, DSDP-364, DSDP-356, bacias de Sergipe e Santos com aquelas descritas para a província tetiana (Thierstein, 1976; Perch-Nielsen, 1985; Burnett, 1998) sugere condições ambientais relativamente similares para as águas superficiais do Mar Tétis e parte setentrional do Oceano Atlântico Sul. Adicionalmente, a assembléia de nanofósseis recuperada no poço DSDP-511, distinta das demais, corrobora a proposta de subdividir o Oceano Atlântico em duas províncias paleoceanográficas distintas separadas pelas elevações de Walvis e Rio Grande. O isolamento ou individualização desta província Austral pode ser explicado pelo modelo de circulação proposto por Zimmerman *et al.* (1987) que sugere um padrão de circulação anticiclônico ao norte da Elevação de Walvis e ciclônico na parte mais austral.

Por outro lado, as diferenças paleoflorísticas poderiam também ser respaldadas pela aquecimento das águas superficiais do pólo em direção ao equador. O padrão de circulação atual é completamente distinto daquele existente no Cretáceo; contudo, as assembléias de cocolitoforídeos (grupo taxonômico atual que reúne grande parte das algas calcárias afins aos nanofósseis calcários) da região Austral e setentrional permanecem distintas. A variação na composição das assembléias atuais reflete mudanças de temperatura, luminosidade, salinidade e nível trófico, controlados pela latitude e circulação oceânica (Winter *et al.*, 1994). Tais considerações são extensivas ao Cretáceo (Bown & Young, 1997), e mesmo considerando a inexistência de calotas polares, sabe-se que as águas oceânicas em altas latitudes eram relativamente mais frias.

## **7.1 PALEOECOLOGIA E PALEOBIOGEOGRAFIA DOS POÇOS DSDP-511 e DSDP-364**

A análise fatorial dos dados geoquímicos (COT,  $\text{CaCO}_3$ ,  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{18}\text{O}$  dos carbonatos) e dos resultados das análise quantitativas dos nanofósseis calcários (percentual

dos principais gêneros, índice de Shannon-Weaver e número de espécimes por campo) dos poços DSDP-364 e DSDP-511 teve como objetivo verificar a existência de correlação entre estas variáveis e o significado paleoceanográficos destas interações. Inicialmente, por meio de técnicas matemáticas, agrupou-se as variáveis em função do seu comportamento em fatores. Posteriormente, interpretou-se o significado destes fatores utilizando-se as informações provenientes dos dados geoquímicos. Devido ao contexto paleoceanográfico e as diferenças de idades dos poços, optou-se em realizar as análises fatoriais destes dois poços separadamente. Por meio do método de análise fatorial-R extraiu-se os fatores mais relevantes e verificou-se através da matriz rotacionada de fatores de carga (*varimax rotated factor matrix*), ou simplesmente matriz de cargas, a contribuição de cada variável nestes fatores. Posteriormente, obteve-se na matriz de escores (*factor scores matrix*) a contribuição individual de cada amostra em relação aos fatores. A elaboração da matriz de correlação e o teste de comunalidade das variáveis foram utilizados para confirmar se os resultados obtidos eram consistentes do ponto de vista estatístico. Uma descrição mais detalhada desta metodologia encontra-se no sub-capítulo 2.4.2.

### 7.1.1 Análise Fatorial dos Dados Geoquímicos e Paleontológicos do Poço DSDP-364.

A análise dos dados do poço DSDP-364 (Tab. 7.2) indica que três fatores explicam cerca de 50% da variância total (Tab. 7.3). Apesar deste valor ser relativamente baixo, observa-se que a comunalidade de quase todas as variáveis é superior a 0,90, assegurando uma boa representatividade estatística para os resultados obtidos (Tab. 7.4). Os demais fatores não foram considerados porque individualmente não explicam nem 5% da variância total.

Observa-se na matriz de cargas (Tab. 7.4) que o primeiro fator é dependente do teor de  $\text{CaCO}_3$ , (CACO3\_CA) número de espécies por campo (ESPECL\_C) e dos gêneros *Stoverius* (STOVERIU), *Eiffellithus* (EIFFELIT), *Microrhabdulus* (MICRORHA) e *Prediscosphaera* (PREDISCO). O valor absoluto elevado, porém negativo, da variável D13C ( $\delta^{13}\text{C}$ ) indica que esta variável também contribui com o fator 1, ainda que em um sentido inverso ao das demais variáveis. A covariação inversa entre o D13C e as demais variáveis com valor positivo elevado evidenciada na matriz de correlação corrobora esta observação



| PROFUNDIDADE | COT  | D13C  | D180  | CACOS_CA | SHANNON | ESPECL_C | BISCUTUM | BROINSON | CHIASTOZ | CRIBROSP | EIFFELIT | EPROLITH | GARTNERA | GLAUKOLI | LITHRAPH | MANIVITE | MARTHAST | MICRORHA | PARHABDO | PREDISCO | QUADRUM | RADIOLIT | RHAGODIS | STOVERIU | STRADNER | TRANOLIT | WATZNAU | PROFUNDIDADE |        |
|--------------|------|-------|-------|----------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|---------|--------------|--------|
| 618.69       | 0.10 | 1.15  | -2.19 | 3.00     | 2.12    | 25.00    | 0.00     | 0.33     | 0.00     | 0.67     | 0.00     | 4.01     | 0.00     | 0.00     | 0.00     | 0.33     | 27.76    | 0.00     | 0.00     | 5.69     | 4.68    | 0.00     | 0.00     | 0.00     | 5.35     | 0.00     | 50.17   | 618.69       |        |
| 618.89       | 0.07 | -0.27 | -2.12 | 29.00    | 2.66    | 30.00    | 0.00     | 0.34     | 2.74     | 0.68     | 15.41    | 2.74     | 0.34     | 3.77     | 0.68     | 3.42     | 0.68     | 0.34     | 0.34     | 15.07    | 4.45    | 0.00     | 0.68     | 0.68     | 4.45     | 1.71     | 38.01   | 618.89       |        |
| 619.09       | 0.06 | 0.82  | -2.38 | 14.00    | 2.12    | 12.50    | 0.00     | 0.00     | 0.00     | 0.00     | 3.02     | 2.35     | 1.01     | 9.73     | 0.67     | 2.68     | 14.09    | 0.00     | 0.00     | 5.37     | 5.03    | 0.00     | 0.00     | 0.00     | 11.74    | 1.01     | 41.95   | 619.09       |        |
| 619.70       | 0.06 | 0.12  | -2.66 | 50.00    | 2.87    | 42.85    | 0.33     | 0.00     | 0.33     | 0.00     | 8.03     | 4.01     | 0.00     | 5.35     | 0.00     | 0.67     | 5.35     | 1.67     | 0.00     | 9.03     | 4.35    | 0.00     | 0.00     | 0.67     | 7.36     | 0.33     | 50.17   | 619.70       |        |
| 620.20       | 0.07 | -0.60 | -2.77 | 58.00    | 2.88    | 37.50    | 0.69     | 0.00     | 1.74     | 0.00     | 8.68     | 1.74     | 1.04     | 4.51     | 2.08     | 1.74     | 1.04     | 1.39     | 1.04     | 13.54    | 6.94    | 0.00     | 0.69     | 1.74     | 6.33     | 4.17     | 33.68   | 620.20       |        |
| 620.40       | 0.06 | 0.14  | -2.75 | 43.00    | 2.60    | 30.00    | 1.02     | 1.02     | 1.36     | 0.00     | 6.44     | 4.41     | 0.68     | 7.12     | 1.02     | 2.03     | 1.02     | 1.02     | 0.68     | 7.12     | 7.46    | 0.00     | 4.41     | 0.34     | 10.51    | 2.37     | 38.64   | 620.40       |        |
| 620.60       | 0.09 | 1.43  | -2.54 | 1.00     | 2.32    | 5.17     | 1.00     | 0.33     | 1.00     | 0.00     | 3.66     | 0.67     | 0.33     | 3.68     | 0.00     | 0.67     | 21.74    | 0.00     | 0.00     | 6.02     | 7.02    | 0.00     | 1.67     | 1.34     | 6.69     | 0.00     | 36.12   | 620.60       |        |
| 620.80       | 0.11 | 1.32  | -2.72 | 4.00     | 1.73    | 6.52     | 0.00     | 0.00     | 0.67     | 0.00     | 0.67     | 0.33     | 0.00     | 2.00     | 0.00     | 0.00     | 22.00    | 0.00     | 0.00     | 4.67     | 4.00    | 0.00     | 0.67     | 0.00     | 18.67    | 0.67     | 43.67   | 620.80       |        |
| 621.00       | 0.08 | -0.39 | -2.54 | 61.00    | 2.52    | 42.86    | 1.71     | 1.03     | 2.05     | 0.34     | 12.67    | 3.42     | 1.03     | 3.08     | 0.68     | 1.71     | 2.05     | 0.68     | 0.68     | 7.68     | 2.74    | 0.00     | 1.71     | 0.68     | 4.79     | 2.40     | 47.26   | 621.00       |        |
| 644.88       | 0.10 | -0.71 | -3.28 | 52.00    | 2.57    | 50.00    | 0.69     | 1.03     | 2.41     | 0.00     | 6.87     | 3.44     | 0.34     | 7.56     | 1.03     | 1.72     | 0.00     | 0.68     | 1.03     | 17.87    | 1.37    | 0.00     | 2.41     | 0.69     | 3.78     | 2.06     | 42.96   | 644.88       |        |
| 645.00       | 0.85 | -0.56 | -3.23 | 3.00     | 2.80    | 33.33    | 1.37     | 0.34     | 2.05     | 0.34     | 7.51     | 10.24    | 1.02     | 444      | 1.02     | 2.05     | 0.00     | 1.37     | 0.68     | 20.48    | 3.07    | 0.00     | 1.02     | 0.68     | 3.07     | 2.73     | 34.13   | 645.00       |        |
| 645.18       | 0.85 | 1.39  | -3.07 | 3.00     | 1.65    | 7.50     | 0.33     | 0.00     | 0.00     | 0.67     | 0.67     | 36.00    | 0.00     | 0.67     | 0.00     | 1.00     | 0.00     | 0.00     | 0.67     | 3.33     | 6.67    | 0.00     | 0.00     | 0.00     | 2.67     | 0.33     | 46.67   | 645.18       |        |
| 645.70       | 0.15 | 0.52  | -3.54 | 34.00    | 2.45    | 33.33    | 0.75     | 0.38     | 1.50     | 0.00     | 3.01     | 9.02     | 1.50     | 3.01     | 0.00     | 4.51     | 0.00     | 0.00     | 0.75     | 15.04    | 3.01    | 0.00     | 2.26     | 0.00     | 3.76     | 1.13     | 47.74   | 645.70       |        |
| 645.90       | 0.04 | -1.62 | -3.28 | 65.00    | 2.53    | 75.00    | 0.69     | 0.00     | 1.72     | 0.34     | 12.37    | 4.47     | 1.03     | 2.75     | 0.69     | 1.37     | 0.00     | 0.69     | 2.41     | 15.12    | 5.50    | 0.00     | 0.69     | 0.69     | 2.41     | 3.09     | 42.61   | 645.90       |        |
| 646.10       | 0.09 | -1.90 | -3.19 | 59.00    | 2.53    | 50.00    | 0.00     | 0.00     | 1.05     | 0.00     | 8.39     | 10.84    | 1.40     | 2.10     | 0.00     | 1.05     | 0.00     | 1.05     | 1.40     | 15.73    | 2.10    | 0.00     | 1.05     | 1.05     | 4.55     | 1.40     | 44.76   | 646.10       |        |
| 646.30       | 0.07 | -1.40 | -3.14 | 37.00    | 2.69    | 60.00    | 1.03     | 0.34     | 1.37     | 0.00     | 9.93     | 7.68     | 1.03     | 2.74     | 1.03     | 1.71     | 0.00     | 1.03     | 0.34     | 13.70    | 4.45    | 1.03     | 2.05     | 2.05     | 2.05     | 1.03     | 43.15   | 646.30       |        |
| 646.50       | 0.13 | -1.21 | -3.31 | 55.00    | 2.84    | 42.86    | 0.68     | 0.68     | 0.68     | 0.00     | 10.24    | 7.17     | 1.02     | 2.05     | 1.02     | 1.71     | 0.00     | 1.02     | 1.02     | 20.14    | 0.68    | 0.34     | 2.05     | 3.41     | 5.80     | 3.07     | 34.47   | 646.50       |        |
| 646.70       | 0.09 | -0.42 | -2.69 | 21.00    | 1.93    | 37.50    | 0.34     | 0.00     | 1.68     | 0.00     | 3.69     | 10.74    | 2.35     | 0.00     | 0.00     | 2.68     | 0.00     | 1.01     | 0.00     | 4.70     | 4.03    | 1.68     | 0.00     | 0.67     | 4.70     | 1.01     | 59.40   | 646.70       |        |
| 646.90       | 0.07 | -0.91 | -3.46 | 53.00    | 2.44    | 42.86    | 1.01     | 1.01     | 0.67     | 0.00     | 9.06     | 6.71     | 2.01     | 1.68     | 0.34     | 1.01     | 0.00     | 1.68     | 0.34     | 17.45    | 1.68    | 1.68     | 1.34     | 2.01     | 1.34     | 1.01     | 45.30   | 646.90       |        |
| 647.40       | 0.08 | -1.57 | -3.28 | 65.00    | 2.25    | 60.00    | 0.00     | 0.34     | 0.00     | 0.00     | 15.20    | 3.38     | 0.34     | 1.01     | 1.35     | 0.68     | 0.00     | 1.69     | 0.34     | 15.20    | 2.03    | 0.00     | 2.36     | 3.04     | 3.04     | 0.68     | 47.64   | 647.40       |        |
| 647.60       | 0.26 | -0.55 | -2.99 | 38.00    | 2.05    | 33.33    | 0.00     | 0.00     | 0.34     | 0.00     | 4.75     | 10.85    | 0.00     | 2.71     | 0.00     | 1.02     | 0.00     | 1.02     | 0.00     | 3.39     | 4.07    | 2.71     | 1.69     | 0.34     | 4.07     | 1.36     | 60.68   | 647.60       |        |
| 647.80       | 0.18 | 1.32  | -2.76 | 24.00    | 2.05    | 33.33    | 0.00     | 0.00     | 0.00     | 0.00     | 1.47     | 20.22    | 0.00     | 0.74     | 0.00     | 1.84     | 0.00     | 0.00     | 0.37     | 4.41     | 7.72    | 3.68     | 1.47     | 1.10     | 0.00     | 0.00     | 56.62   | 647.80       |        |
| 648.20       | 0.74 | 1.11  | -2.82 | 28.00    | 1.81    | 23.08    | 0.00     | 0.00     | 0.00     | 0.00     | 1.35     | 29.05    | 0.00     | 0.68     | 0.00     | 0.68     | 0.00     | 0.34     | 0.68     | 0.00     | 12.50   | 4.05     | 0.68     | 0.00     | 2.36     | 0.00     | 0.00    | 46.96        | 648.20 |
| 648.40       | 0.12 | 0.16  | -3.59 | 39.00    | 2.11    | 60.00    | 0.33     | 0.00     | 0.33     | 0.00     | 0.67     | 27.67    | 1.67     | 3.33     | 0.00     | 1.33     | 0.00     | 0.00     | 1.00     | 6.00     | 3.00    | 4.33     | 0.33     | 0.00     | 2.00     | 0.67     | 46.33   | 648.40       |        |
| 648.70       | 0.05 |       |       | 2.00     | 1.81    | 50.00    | 0.00     | 0.34     | 0.68     | 0.00     | 10.47    | 4.39     | 0.68     | 0.68     | 0.34     | 1.01     | 0.00     | 0.68     | 0.34     | 7.43     | 2.36    | 0.68     | 1.35     | 1.35     | 1.69     | 1.35     | 63.51   | 648.70       |        |
| 648.90       | 0.05 |       |       | 2.00     | 2.04    | 42.86    | 0.34     | 0.69     | 0.34     | 0.00     | 3.44     | 16.15    | 0.00     | 0.69     | 0.00     | 1.03     | 0.00     | 0.34     | 0.69     | 5.15     | 7.56    | 4.12     | 0.69     | 0.00     | 4.12     | 0.69     | 53.26   | 648.90       |        |
| 649.10       | 0.13 | 2.03  | -2.88 | 21.00    | 1.79    | 50.00    | 0.00     | 0.00     | 0.00     | 0.00     | 2.08     | 4.17     | 0.42     | 3.33     | 0.00     | 2.08     | 0.00     | 0.00     | 0.42     | 6.25     | 0.42    | 1.67     | 0.83     | 0.00     | 15.00    | 0.00     | 62.50   | 649.10       |        |
| 649.30       | 0.08 | 0.82  | -3.23 | 37.00    | 2.44    | 37.50    | 0.00     | 0.00     | 1.34     | 0.00     | 8.03     | 19.40    | 0.67     | 2.01     | 0.00     | 2.34     | 0.00     | 2.01     | 1.00     | 13.71    | 5.69    | 1.34     | 0.67     | 1.34     | 2.34     | 0.00     | 0.00    | 37.12        | 649.30 |
| 649.50       | 0.14 | -2.15 | -3.23 | 53.00    | 2.04    | 60.00    | 0.00     | 0.33     | 0.67     | 0.00     | 8.09     | 4.68     | 0.67     | 2.34     | 0.67     | 2.34     | 0.00     | 0.00     | 0.67     | 14.38    | 2.34    | 1.00     | 1.67     | 0.33     | 1.67     | 0.67     | 56.19   | 649.50       |        |

Tabela 7.2 -Tabela de dados utilizada na análises fatorial do poço 364; Os dados quantitativos de nanofósseis estão expressos em porcentagem

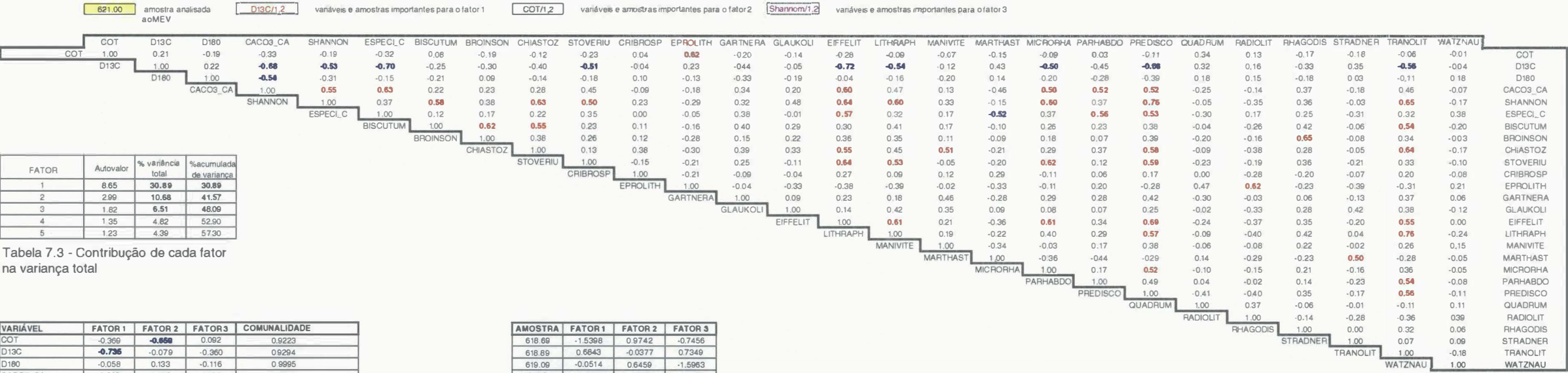


Tabela 7.3 - Contribuição de cada fator na variação total

| VARIÁVEL | FATOR 1 | FATOR 2 | FATOR 3 | COMUNALIDADE |
|----------|---------|---------|---------|--------------|
| COT      | -0.369  | -0.659  | 0.082   | 0.9223       |
| D13C     | -0.736  | -0.079  | -0.360  | 0.9294       |
| D180     | -0.058  | 0.133   | -0.116  | 0.9995       |
| CACOS_CA | 0.648   | 0.115   | 0.198   | 0.9966       |
| SHANNON  | 0.288   | 0.160   | 0.739   | 0.9996       |
| ESPECL_C | 0.896   | -0.013  | 0.081   | 0.9972       |
| BISCUTUM | 0.037   | -0.024  | 0.715   | 0.9990       |
| BROINSON | 0.211   | 0.174   | 0.515   | 0.9984       |
| CHIASTOZ | 0.175   | 0.094   | 0.778   | 0.9172       |
| CRIBROSP | -0.099  | 0.114   | 0.290   | 0.9955       |
| EIFFELIT | 0.622   | 0.234   | 0.527   | 0.9994       |
| EPROLITH | -0.046  | -0.965  | -0.241  | 0.9963       |
| GARTNERA | 0.383   | -0.017  | 0.275   | 0.9800       |
| GLAUKOLI | -0.148  | 0.308   | 0.432   | 0.9958       |
| LITHRAPH | 0.248   | 0.208   | 0.641   | 0.9962       |
| MANIVITE | 0.171   | -0.036  | 0.377   | 0.9578       |
| MARTHAST | -0.587  | 0.439   | -0.140  | 0.9855       |
| MICRORHA | 0.438   | 0.013   | 0.324   | 0.9895       |
| PARHABDO | 0.392   | -0.269  | 0.330   | 0.9981       |
| PREDISCO | 0.480   | 0.133   | 0.610   | 0.9996       |
| QUADRUM  | -0.289  | -0.397  | -0.012  | 0.9912       |
| RADIOLIT | 0.198   | -0.531  | -0.436  | 0.9691       |
| RHAGODIS | 0.270   | 0.129   | 0.392   | 0.9918       |
| STOVERIU | 0.487   | 0.142   | 0.267   | 0.9972       |
| STRADNER | -0.395  | 0.074   | -0.022  | 0.9750       |
| TRANOLIT | 0.252   | 0.102   | 0.745   | 0.9863       |
| WATZNAU  | 0.289   | -0.094  | -0.241  | 0.9889       |

Tabela 7.4 - Matriz de cargas das variáveis.

| AMOSTRA | FATOR 1 | FATOR 2 | FATOR 3 |
|---------|---------|---------|---------|
| 618.69  | -1.5398 | 0.9742  | -0.7456 |
| 618.89  | 0.6843  | -0.0377 | 0.7349  |
| 619.09  | -0.0514 | 0.6459  | -1.5963 |
| 619.7   | -0.0987 | 1.3168  | 0.3568  |
| 620.2   | -1.5098 | 0.7291  | 2.3213  |
| 620.4   | -3.8128 | 2.1430  | 4.2399  |
| 620.6   | -2.4202 | 1.2707  | 0.4869  |
| 620.8   | -1.1083 | 0.9399  | -0.5653 |
| 621     | -1.3135 | 0.8971  | 2.7081  |
| 644.88  | 3.4540  | -1.1413 | -1.7333 |
| 645     | -2.0780 | -0.4538 | 3.2518  |
| 645.16  | -1.9952 | -2.9665 | -0.1128 |
| 645.7   | 6.8283  | -3.7680 | -5.4056 |
| 645.9   | 3.3904  | -0.4029 | -1.2187 |
| 646.1   | 0.4364  | -0.3357 | -0.7984 |
| 646.3   | 2.0096  | -0.6244 | 0.0642  |
| 646.5   | -0.8431 | 1.3924  | 2.6144  |
| 646.7   | 1.2678  | -0.2573 | -1.2751 |
| 646.9   | 0.1282  | 0.7768  | 0.7444  |
| 647.4   | 8.8699  | -3.4906 | -7.4874 |
| 647.6   | 2.0718  | -1.8182 | -2.8699 |
| 647.8   | -3.3586 | 0.7135  | 1.7147  |
| 648.2   | 1.4177  | -2.4089 | -2.3543 |
| 648.4   | 1.0948  | -2.4000 | -1.0232 |
| 648.7   | -1.0303 | 1.6537  | 2.0672  |
| 648.9   | 4.1011  | -2.8912 | -3.8699 |
| 649.1   | -1.4766 | 1.6906  | -0.6953 |
| 649.3   | -4.1753 | 1.3331  | 3.7831  |
| 649.5   | -7.8202 | 5.3633  | 7.8290  |

Tabela 7.6 - Matriz de escores.

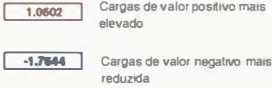
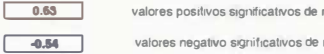


Tabela 7.5 -Matriz de correlação do poço. ( r ) coeficiente de pearson; α=0,05



(Tab. 7.5). O gênero *Marthasterites* (MARTHAST) possui valor negativo na matriz de carga; entretanto, a correlação negativa desta variável com as demais, com fator de carga positivo, é pouco significativa (Tab. 7.5). Sobre a interpretação do fator 1 é importante fazer duas considerações: a) as amostras com valores de  $\delta^{13}\text{C}$  negativos (variando em torno de  $-0,3$  a  $-1,6$  ‰) representam carbonatos constituídos essencialmente por nanofósseis bem preservados (Foto 7.1). Este valor se contrapõe aqueles mais positivos ( $\cong +1$ ‰) observados em amostras cuja assembléias são dominadas pelos gêneros *Marthasterites* e *Eprolithus*, indicativos do aumento da produtividade; b) os resultados muito negativos do  $\delta^{13}\text{C}$  ( $-2,15$ ‰ em 649,5 m) devem-se provavelmente à precipitação de cimento isotopicamente mais leve oriundo da dissolução dos carbonatos finos sob influência da sulfato-redução da MO presente nos estratos adjacentes. Interpreta-se que o fator 1 está associado a amostras com elevado teor de carbonato, constituído por assembléias nanofossilíferas bem preservadas e com diversidade elevada, e sinal isotópico representativo do carbonato biogênico formado nas águas superficiais, suavemente deslocado para valores negativos devido à litificação da rocha.

Roth & Krumbach (1986) preconizam que o gênero *Eiffelithus*, importante neste fator (Tab. 7.4), é indicativo do aumento de fertilidade. Porém, se esta interpretação fosse válida neste poço o  $\delta^{13}\text{C}$ , parâmetro usado para indicar aumento de produtividade, deveria ter covariação positiva com este gênero.

As menores cargas relacionadas ao segundo fator (valores mais negativos) estão nas variáveis EPROLITH (gênero *Eprolithus*), RADIOLIT (*Radiolithus*) e COT (Tabela 7.4), sendo este resultado consistente também com a matriz de correlação que aponta uma correlação positiva entre estes parâmetros (Tab. 7.5). O aumento dos *Eprolithus* e *Radiolithus* pode ser interpretado como produto da dissolução seletivas de espécies menos resistentes. Todavia, se esta interpretação estivesse correta, o gênero *Watznaueria* (WATZANAU) deveria contribuir efetivamente na matriz de carga, já que o aumento acentuado de *W. barnesae* em relação a outras espécies de nanofósseis é um sinal evidente de dissolução (Thierstein, 1976; Roth & Krumbach, 1986; Williams & Bralower, 1995). Outra interpretação possível para este fator é relacioná-lo à produtividade primária. As associações monoespecíficas de nanofósseis ocorrem no início de eventos de alta produtividade primária deflagrados pela eutrofização das águas superficiais (Roth & Krumbach, 1986; Windley, 1995; Williams & Bralower, 1995; Cunha & Shimabukuro, 1997; Cunha & Koutsoukos, 1998).



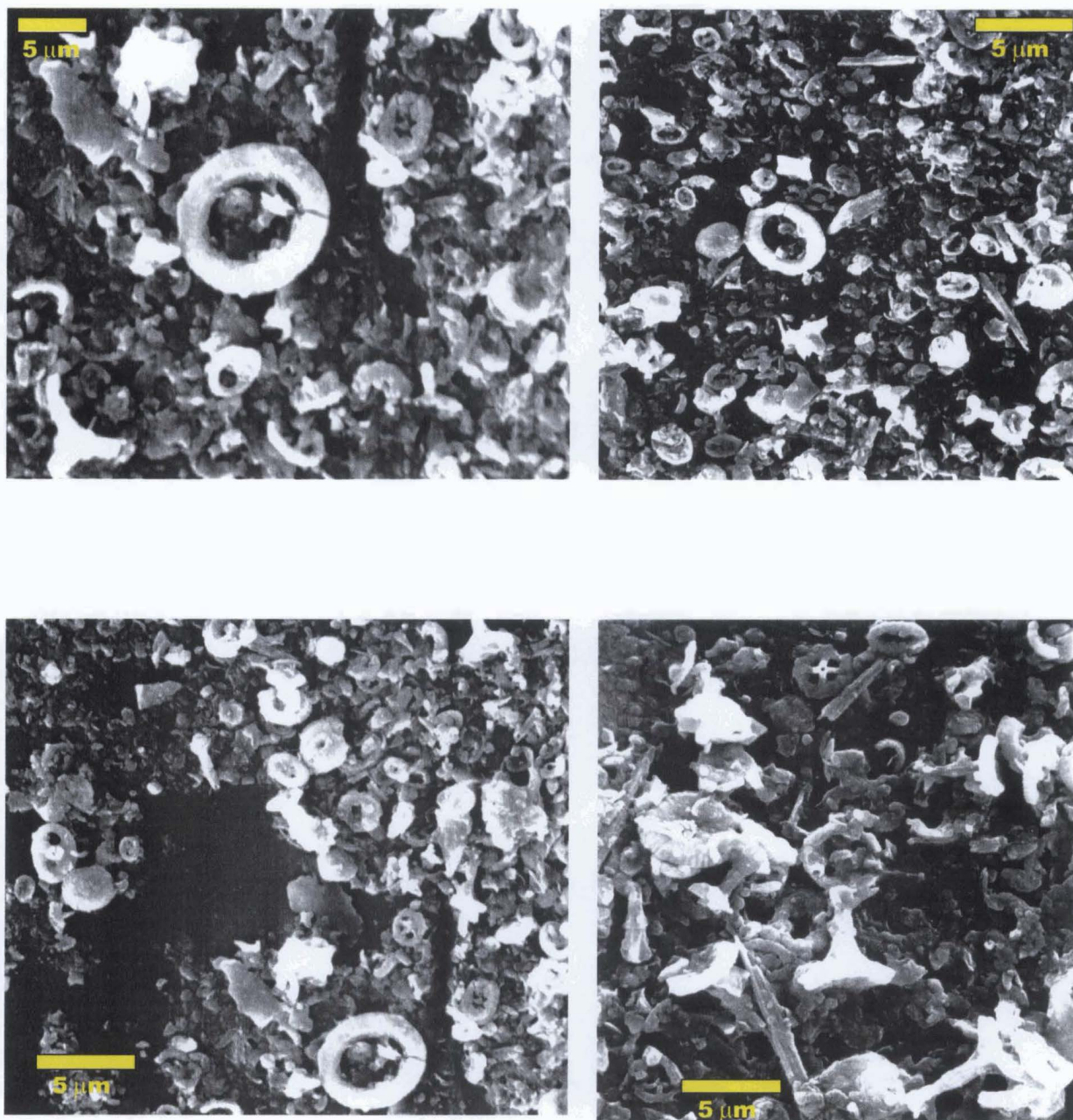


Foto 7.1 - Análise ao MEV da amostra coletada em 621 m do poço DSDP-364. Não existe evidência de dissolução dos nanofósseis e dos fragmentos de carbonatos de tamanho similar (5-15  $\mu\text{m}$ ). Interpreta-se que os valores dos isótopos de carbono e oxigênio correspondentes a esta rocha não foram influenciados por processos diagenéticos.

Uma análise mais detalhada das amostras importantes para o fator 2 (matriz de escores; Tab. 7.6), evidencia que pelo menos algumas destas amostras são caracterizadas por COT relativamente elevado e  $\delta^{13}\text{C}$  bastante positivo (645,18, 645,7 e 648,2 m; Tab. 7.2). Desta forma conclui-se que, pelo menos em parte, este fator relaciona-se à produtividade primária. Outra interpretação alternativa é relacionar as associações monoespecíficas de *Eprolithus floralis* ao influxo de águas mais frias (Bralower, 1988 e Gorostidi & Lamolda 1994). Porém, neste caso o  $\delta^{18}\text{O}$ , de contribuição irrelevante neste fator, deveria ter uma participação mais efetiva. As variáveis MARTHA (Marthasterites) e STRADNER (Stradneria) contribuem no fator 2 de maneira oposta aos *Eprolithus* (valores negativos na matriz de carga – Tab. 7.4), sugerindo que as condições paleocológicas ideais para estes gêneros são distintas das adequadas para a família Polycyclolithaceae.

O terceiro fator destaca os gêneros *Biscutum* (BISCUTUM), *Broinsonia* (BROINSON), *Chiastozygus* (CHIASTOZ), *Glaukolithus* (GLAUKOLI), *Eiffellithus* (EIFFELIT), *Litraphidites* (LITHRAPH), *Tranolithus* (TRANOLT), *Prediscosphaera* (PREDISCO) e o índice de Shannon-Weaver (SHANNON). O aumento destes gêneros concomitante com o índice de Shannon-Weaver (SHANNON) indica que estas espécies ocorrem associadas a amostras de diversidade elevada (Tabs. 7.2 e 7.6). Hill (1975) demonstra que associações de nanofósseis expostas durante muito tempo a uma pressão de  $\text{CO}_2$  elevada sofrem uma redução acentuada das espécies *Tranolithus orionatus* e *Biscutum constans*. Estas espécies pertencem aos dois gêneros que mais contribuíram no fator 3. Por conseguinte, pode-se interpretar que este fator esteja relacionado à existência de condições ambientais ideais para a proliferação da maioria dos nanofósseis e da ausência de sinais de dissolução nas amostras. Acredita-se que os ambientes oligotróficos são os mais adequados para a proliferação de assembléias de nanofósseis com alta diversidade. As cargas negativas das variáveis que representam os gêneros *Eprolithus*, *Radiolithus* e  $\delta^{13}\text{C}$  corroboram esta interpretação (Tab. 7.4). Como discutido na interpretação do fator 2, estes gêneros frequentemente ocorrem como florações monogenéricas, típicas de ambientes meso-eutróficos (Brasier, 1995).

Na figura 7.1 (fator 2 versus fator 3) visualizam-se três agrupamentos distintos de variáveis. O primeiro, constituído pelas variáveis COT, EPROLTH (*Eprolithus*), RADIOLIT (*Radiolithus*) e QUADRUM (*Quadrum*), relaciona-se ao aumento de produtividade primária (variáveis com acentuada carga negativa para os fatores 3 e 2). O segundo grupo (variáveis com carga positiva nos fatores 1 e 3), caracterizado pela maior parte dos gêneros, pode ser

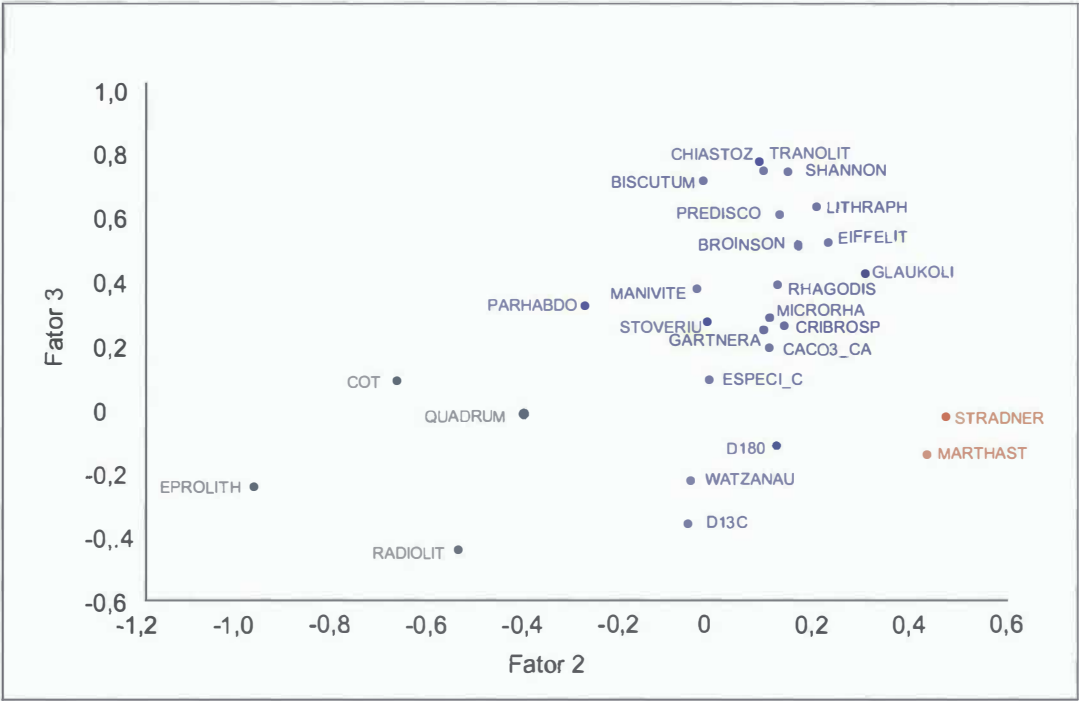


Figura 7.1 - Gráfico mostrando os valores do fator 2 versus o fator 3 resultantes da análise espectral do poço DSDP-364. Observam-se 3 grupos distintos de variáveis: a) EPROLITH (*Eprolithus* spp.), COT, QUADRUN (*Quadrum* spp.) e RADIOLIT (*Radiolithus* spp.); b) STRADNER (*Stradneria* spp.) e MARTHAST (*Marthasterites* spp.); c) demais parâmetros e gêneros. O primeiro grupo representa valores negativos dos dois fatores, sendo interpretado como relacionado a produtividade primária. O segundo, sugere condições ambientais específicas e diferentes daquelas que favoreceram o primeiro grupo. E o terceiro, as condições ambientais adequadas à maioria dos nanofósseis e boas condições de preservação.

interpretado como produto de condições paleoambientais adequadas à maioria dos nanofósseis e boa preservação. A ocorrência conjunta de *Marthasterites* (MARTHAST) e *Stradneria* (STRADNER) pode ter um significado ambiental. Estes gêneros contribuem no fator 2 de maneira oposta ao *Eprolithus* e *Radiolithus*, sugerindo que as condições paleocológicas ideais para estes dois grupos são distintas. Essa interpretação deve ser considerada com restrição, uma vez que *Marthasterites* só ocorre em poucas amostras na parte superior da seção, dificultando os estudos estatísticos. A figura 7.2 resume a análise fatorial do poço DSDP-364.

### 7.1.2 Análise Fatorial dos Dados Geoquímicos e Paleontológicos do Poço DSDP-511.

No poço 511, cerca de 70% da variância dos dados é explicada pelos três primeiros fatores, cada um representando no mínimo 10% da variância total (Tabelas 7.7 e 7.8). A comunalidade é elevada, estando em torno de 0,90 (Tabela 7.9).

Na matriz de carga (Tabela 7.9) visualiza-se que o primeiro fator tem carga elevada no índice Shannon-Weaver (SHANNON) e nos gêneros: *Ahmuellerella* (AHMUELLE), *Chiastozygus* (CHIASTOZ), *Cretarhabdus* (CRETARHA), *Gartnerago* (GARTNERA), *Eiffellithus* (EIFFELIT), *Kamptnerius* (KAMPTENE), *Placozygus* (PLACOZYG) e *Prediscosphaera* (PREDISCO). Em contrapartida as cargas mais negativas relacionam-se ao  $\delta^{18}\text{O}$  (D18O), e os gêneros *Watznaueria* (WATZNAUE) e *Seribiscutum* (SERIBISC). A correlação entre os elementos destes dois agrupamentos de variáveis é negativa (Tab. 7.10). Assumindo que o  $\delta^{18}\text{O}$  é representativo do registro primário das condições ambientais, pode-se interpretar que este fator está relacionado com a salinidade ou com a temperatura (sub-capítulo 6.2). Deste modo os valores menos negativos do  $\delta^{18}\text{O}$  sugerem aporte de águas mais frias ou mais salinas. Assumindo a hipótese de um padrão de circulação ciclônico (sentido horário) ao sul das elevações de Rio Grande e Walvis, é mais provável que o valor mais positivo do  $\delta^{18}\text{O}$  relacione-se a águas mais frias (Zimmerman *et al.*, 1987). Estas águas provenientes do pólo promoveriam um aumento de produtividade favorecendo a proliferação dos gêneros *Watznaueria* e *Seribiscutum* em detrimento das demais espécies. Nota-se que esta tendência é mais acentuada nas amostras do Cenomaniano Superior (intervalo 429,18-430,89; Anexo 1), sendo sutil no intervalo Turoniano-Coniaciano



POÇO DSDP-364

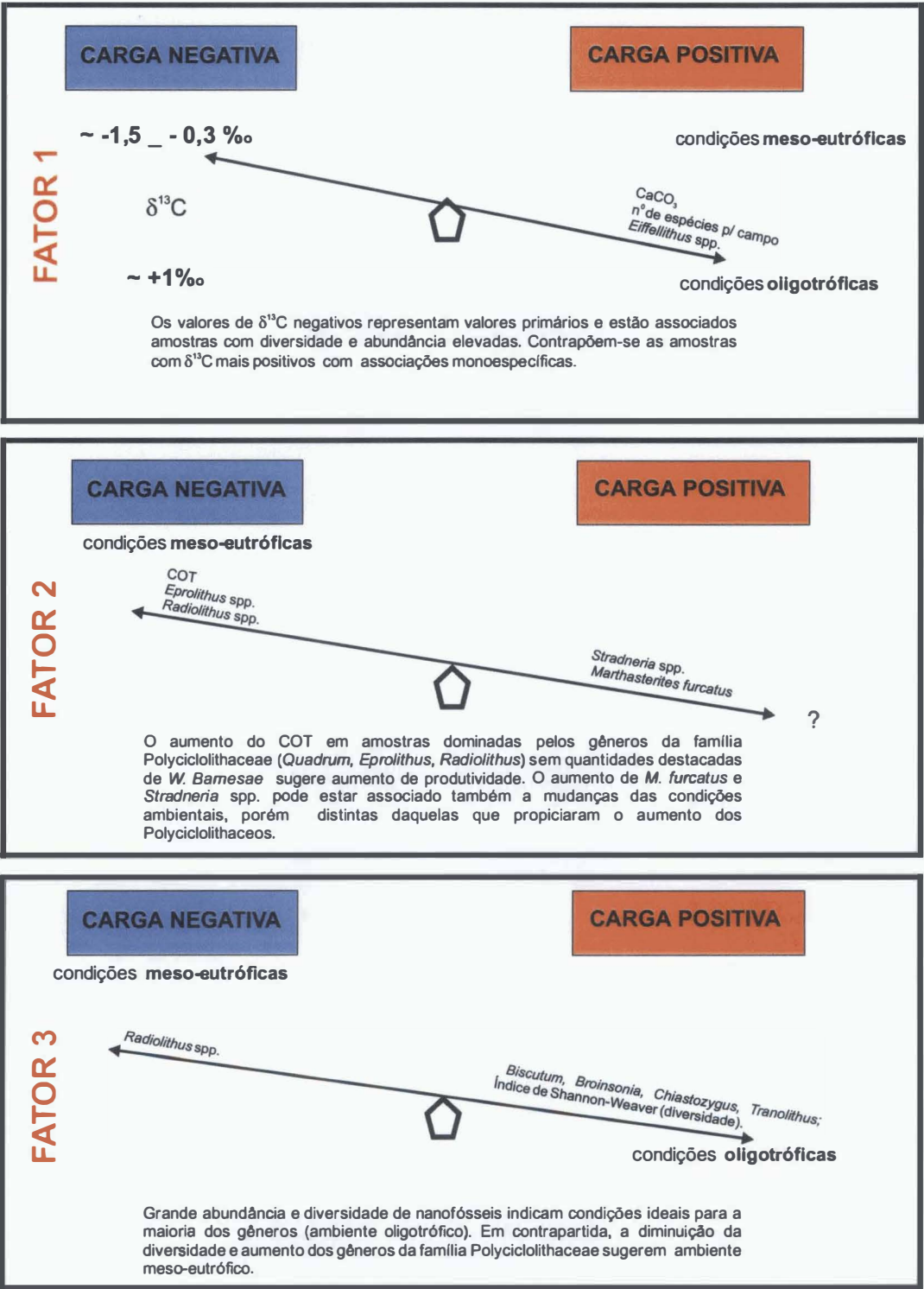


Figura 7.2 - Resumo da análise fatorial dos dados de nanofósseis e geoquímicos do poço DSDP-364. Informações mais detalhadas sobre os dados e interpretações estão nas tabelas e textos referentes a estas análises.

| PROFUNDIDADE | COT  | CACO3 | D13C  | SHANNON | ESPECI_C | BISCUTUM | CHIASTOZ | CRETARHA | CRIBROSP | EIFFELIT | EPROLITH | GARTNERA | GLAUKOLI | KAMPTENE | PLACOZYG | PREDISCO | RHAGODIS | SERIBISC | STAUROLI | STRADNER | TRANOLIT | VAGALAPI | WATZANU | THERSTE | PROFUNDIDADE |        |        |
|--------------|------|-------|-------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|---------|---------|--------------|--------|--------|
| 394.70       | 0.44 | 12.00 | -0.13 | -2.79   | 2.75     | 9.68     | 11.07    | 8.30     | 0.00     | 0.00     | 2.77     | 4.15     | 6.92     | 4.15     | 3.46     | 3.46     | 0.00     | 11.42    | 0.00     | 4.01     | 3.11     | 0.00     | 0.00    | 4.15    | 24.91        | 3.34   | 394.70 |
| 394.90       | 0.45 | 2.00  | 0.09  | -2.82   | 2.90     | 9.38     | 8.01     | 13.24    | 0.70     | 0.00     | 3.14     | 4.88     | 9.06     | 3.83     | 8.01     | 3.83     | 0.00     | 4.88     | 0.35     | 7.36     | 3.14     | 0.70     | 0.00    | 2.09    | 19.16        | 3.68   | 394.90 |
| 395.10       | 0.47 | 2.00  | 0.31  | -2.88   | 3.04     | 8.33     | 8.83     | 3.89     | 0.71     | 2.47     | 3.18     | 7.42     | 5.30     | 8.48     | 8.13     | 3.53     | 0.00     | 7.42     | 0.00     | 5.69     | 9.54     | 0.00     | 0.00    | 3.18    | 15.55        | 3.01   | 395.10 |
| 395.30       | 0.54 | 2.00  | 0.53  | -2.79   | 2.53     | 5.08     | 3.55     | 7.45     | 0.00     | 0.35     | 2.84     | 3.90     | 7.45     | 4.26     | 3.19     | 3.55     | 1.06     | 2.48     | 0.00     | 7.02     | 3.90     | 0.00     | 0.00    | 3.19    | 36.17        | 1.34   | 395.30 |
| 395.49       | 0.40 | 16.00 | 0.58  | -2.75   | 2.94     | 15.00    | 9.67     | 8.92     | 0.37     | 0.00     | 4.09     | 4.83     | 1.12     | 1.49     | 3.35     | 17.10    | 0.37     | 3.68     | 6.69     | 0.00     | 0.00     | 0.00     | 3.72    | 18.59   | 3.34         | 395.49 |        |
| 395.70       | 0.44 | 12.00 | 0.93  | -2.69   | 2.52     | 15.00    | 9.54     | 3.89     | 0.00     | 1.06     | 2.83     | 7.07     | 6.36     | 5.65     | 3.53     | 3.18     | 2.47     | 12.72    | 0.35     | 0.33     | 0.00     | 0.00     | 0.00    | 3.89    | 36.04        | 0.33   | 395.70 |
| 395.89       | 0.41 | 16.00 | 0.69  | -2.79   | 2.62     | 18.75    | 15.64    | 2.91     | 2.18     | 1.09     | 1.45     | 8.00     | 2.55     | 7.27     | 1.82     | 1.82     | 2.55     | 16.00    | 0.00     | 4.35     | 5.82     | 0.73     | 0.00    | 2.91    | 17.09        | 4.01   | 395.89 |
| 396.20       | 0.35 | 12.00 | 0.51  | -2.78   | 2.34     | 11.54    | 12.50    | 4.51     | 1.74     | 0.69     | 0.69     | 6.60     | 3.13     | 6.94     | 2.08     | 2.78     | 0.00     | 14.93    | 0.35     | 3.01     | 3.47     | 0.00     | 0.35    | 3.82    | 28.13        | 3.01   | 396.20 |
| 396.40       | 0.33 | 2.00  | -0.39 | -2.40   | 0.77     | 0.85     | 1.20     | 0.00     | 1.30     | 0.00     | 1.30     | 0.00     | 24.68    | 0.00     | 1.30     | 2.60     | 0.00     | 2.60     | 0.00     | 2.01     | 0.00     | 0.00     | 0.00    | 1.30    | 62.34        | 0.33   | 396.40 |
| 396.59       | 0.44 | 12.00 | 0.46  | -2.55   | 2.78     | 12.00    | 12.36    | 1.45     | 1.82     | 1.45     | 1.45     | 2.91     | 1.82     | 14.18    | 2.18     | 3.27     | 0.73     | 12.73    | 0.00     | 7.36     | 1.82     | 0.73     | 0.00    | 5.45    | 20.00        | 6.69   | 396.59 |
| 396.79       | 0.31 | 12.00 | 0.21  | -2.85   | 2.70     | 21.43    | 10.47    | 5.78     | 0.72     | 1.44     | 0.72     | 7.94     | 2.89     | 10.47    | 1.08     | 7.94     | 1.44     | 13.36    | 0.00     | 4.01     | 1.44     | 0.00     | 0.00    | 1.44    | 24.19        | 3.01   | 396.79 |
| 396.99       | 0.22 | 4.00  | -0.17 | -2.49   | 1.73     | 4.62     | 0.68     | 0.34     | 0.00     | 0.34     | 0.34     | 2.38     | 26.87    | 2.72     | 0.34     | 4.42     | 1.70     | 1.36     | 0.00     | 4.35     | 0.00     | 0.00     | 0.00    | 1.02    | 47.96        | 4.68   | 396.99 |
| 411.70       | 0.16 | 20.00 | 0.01  | -3.45   | 3.07     | 30.00    | 6.25     | 3.47     | 2.78     | 1.04     | 1.39     | 20.49    | 3.47     | 5.90     | 6.60     | 6.94     | 2.08     | 13.54    | 2.08     | 6.35     | 2.43     | 0.00     | 0.00    | 0.35    | 12.50        | 0.33   | 411.70 |
| 411.90       | 0.23 | 20.00 | 0.34  | -3.32   | 3.07     | 50.00    | 9.12     | 1.40     | 1.75     | 0.00     | 1.05     | 18.95    | 1.40     | 11.93    | 2.81     | 6.67     | 1.75     | 11.23    | 2.46     | 5.02     | 5.95     | 0.70     | 0.00    | 1.40    | 12.28        | 1.00   | 411.90 |
| 412.10       | 0.12 | 20.00 | -0.04 | -4.14   | 3.06     | 30.00    | 6.10     | 2.37     | 2.37     | 0.34     | 0.68     | 20.00    | 1.02     | 6.44     | 4.41     | 6.10     | 3.73     | 13.56    | 3.39     | 3.34     | 1.69     | 1.02     | 0.00    | 0.00    | 17.63        | 0.33   | 412.10 |
| 412.30       | 0.09 | 12.00 | 0.11  | -3.31   | 2.96     | 11.54    | 7.07     | 5.65     | 2.12     | 1.77     | 0.35     | 7.77     | 3.53     | 7.42     | 4.24     | 6.71     | 1.06     | 19.43    | 0.71     | 5.69     | 0.00     | 1.41     | 1.41    | 0.71    | 19.79        | 2.01   | 412.30 |
| 412.51       | 0.12 | 12.00 | 0.57  | -3.27   | 3.05     | 23.08    | 9.41     | 3.48     | 3.83     | 2.09     | 0.35     | 22.65    | 2.79     | 7.67     | 1.39     | 5.57     | 1.39     | 14.98    | 2.09     | 2.34     | 1.05     | 0.70     | 0.70    | 0.35    | 13.94        | 2.34   | 412.51 |
| 412.69       | 0.11 | 12.00 | 0.68  | -3.13   | 3.05     | 23.08    | 4.81     | 2.41     | 5.84     | 1.72     | 1.37     | 13.75    | 7.90     | 9.97     | 2.75     | 7.90     | 1.72     | 11.68    | 1.72     | 4.68     | 1.03     | 0.69     | 0.69    | 0.00    | 16.49        | 2.01   | 412.69 |
| 413.67       | 0.13 | 12.00 | 0.11  | -3.44   | 2.63     | 9.68     | 1.34     | 0.00     | 3.37     | 0.37     | 1.50     | 13.11    | 7.87     | 8.99     | 0.00     | 13.86    | 0.75     | 10.49    | 1.12     | 4.68     | 0.75     | 1.87     | 0.00    | 0.37    | 33.71        | 5.69   | 413.67 |
| 413.89       | 0.09 | 12.00 | 0.66  | -3.14   | 2.57     | 13.64    | 2.04     | 0.34     | 2.72     | 0.00     | 0.68     | 11.22    | 3.06     | 8.50     | 0.34     | 10.20    | 0.68     | 12.59    | 0.68     | 4.01     | 0.00     | 3.06     | 0.68    | 0.00    | 35.03        | 3.01   | 413.89 |
| 414.10       | 0.23 | 12.00 | 0.78  | -3.05   | 2.13     | 14.29    | 1.36     | 0.68     | 2.72     | 0.00     | 0.34     | 5.78     | 2.38     | 7.14     | 1.36     | 13.95    | 0.00     | 10.88    | 0.00     | 3.01     | 0.00     | 1.02     | 0.00    | 0.00    | 46.94        | 2.34   | 414.10 |
| 414.30       | 0.07 | 8.00  | -0.24 | -2.96   | 1.60     | 11.11    | 0.00     | 0.34     | 1.01     | 0.00     | 0.34     | 4.03     | 5.70     | 6.04     | 0.00     | 1.68     | 0.00     | 4.70     | 0.00     | 5.35     | 0.67     | 0.00     | 0.00    | 0.00    | 67.11        | 1.67   | 414.30 |
| 429.18       | 0.05 | 12.00 | 0.94  | -1.10   | 0.94     | 15.79    | 0.00     | 0.67     | 0.00     | 0.00     | 0.00     | 0.34     | 0.34     | 0.00     | 0.67     | 0.00     | 0.00     | 0.00     | 0.00     | 19.40    | 0.00     | 0.00     | 1.34    | 0.00    | 75.84        | 0.33   | 429.18 |
| 429.39       | 0.07 | 16.00 | 1.01  | -0.93   | 0.92     | 18.75    | 0.00     | 1.72     | 0.00     | 0.00     | 0.00     | 0.69     | 0.00     | 0.00     | 0.00     | 0.00     | 0.00     | 0.69     | 15.05    | 0.00     | 2.41     | 0.69     | 0.00    | 78.35   | 0.33         | 429.39 |        |
| 429.59       | 0.04 | 56.00 | 1.63  | -0.08   | 1.29     | 17.65    | 0.00     | 1.02     | 0.00     | 0.34     | 0.00     | 2.72     | 0.00     | 0.00     | 0.68     | 0.00     | 0.00     | 0.68     | 1.02     | 18.06    | 0.00     | 1.02     | 4.08    | 0.00    | 69.71        | 0.33   | 429.59 |
| 429.80       | 0.04 | 60.00 | 2.15  | 0.07    | 1.84     | 25.00    | 0.00     | 4.20     | 0.38     | 0.00     | 0.00     | 1.91     | 0.76     | 0.76     | 1.91     | 0.00     | 0.00     | 1.15     | 2.29     | 11.71    | 0.76     | 6.49     | 4.96    | 0.00    | 60.69        | 0.33   | 429.80 |
| 430.00       | 0.04 | 72.00 | 2.23  | 0.03    | 1.58     | 50.00    | 0.00     | 6.53     | 0.34     | 0.00     | 0.00     | 2.75     | 0.34     | 1.37     | 0.34     | 0.00     | 0.00     | 1.72     | 1.03     | 12.37    | 0.00     | 1.72     | 5.15    | 0.00    | 64.95        | 0.33   | 430.00 |
| 430.20       | 0.03 | 40.00 | 2.07  | -0.41   | 1.26     | 75.00    | 0.00     | 2.80     | 0.00     | 0.00     | 0.00     | 1.75     | 1.40     | 0.70     | 0.00     | 0.00     | 0.00     | 0.00     | 1.75     | 14.72    | 0.00     | 0.00     | 4.55    | 0.35    | 70.98        | 0.33   | 430.20 |
| 430.39       | 0.04 | 27.00 | 1.67  | -0.71   | 1.76     | 42.86    | 0.00     | 2.07     | 0.34     | 0.00     | 0.00     | 7.93     | 2.41     | 0.00     | 1.38     | 0.00     | 1.72     | 0.69     | 1.38     | 12.37    | 0.34     | 4.48     | 4.48    | 0.34    | 58.62        | 0.33   | 430.39 |
| 430.69       | 0.03 | 31.00 | 1.63  | -0.60   | 2.63     | 30.00    | 0.00     | 8.10     | 2.11     | 1.06     | 0.70     | 5.99     | 2.46     | 0.00     | 1.76     | 0.00     | 0.00     | 5.99     | 5.28     | 6.35     | 0.35     | 4.58     | 7.39    | 0.35    | 43.66        | 0.33   | 430.69 |
| 430.89       | 0.04 | 36.00 | 1.61  | -0.33   | 1.97     | 30.00    | 0.00     | 10.42    | 1.04     | 0.00     | 0.00     | 4.86     | 1.04     | 0.00     | 0.35     | 0.00     | 0.00     | 4.86     | 1.74     | 9.03     | 0.00     | 2.08     | 5.21    | 0.35    | 57.29        | 0.33   | 430.89 |

Tabela 7.7 -Tabela de dados utilizada na análises fatorial do poço 511; Os dados quantitativos de nanofósseis estão expressos em porcentagem

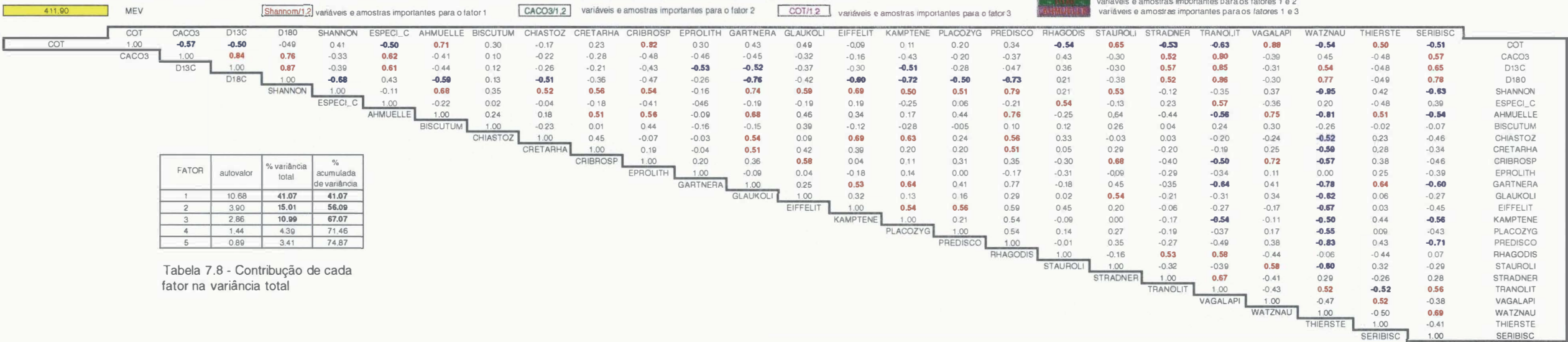


Tabela 7.8 - Contribuição de cada fator na variância total

| VARIÁVEL | FATOR 1 | FATOR 2 | FATOR 3 | COMUNALIDADE |
|----------|---------|---------|---------|--------------|
| COT      | 0.0774  | 0.4421  | -0.8429 | 0.9932       |
| CACO3    | -0.2209 | -0.7987 | 0.2389  | 0.8716       |
| D13C     | -0.3130 | -0.8749 | 0.1677  | 0.9625       |
| D180     | -0.6659 | -0.7290 | 0.1582  | 0.9904       |
| SHANNON  | 0.8997  | 0.0339  | -0.4021 | 0.9951       |
| ESPECI_C | 0.0354  | -0.6205 | 0.2267  | 0.8918       |
| AHMUELLE | 0.5448  | 0.1462  | -0.7038 | 0.9806       |
| BISCUTUM | 0.0110  | -0.2805 | -0.5282 | 0.9416       |
| CHIASTOZ | 0.7633  | 0.1203  | 0.3608  | 0.8874       |
| CRETARHA | 0.5282  | 0.0507  | -0.2115 | 0.8341       |
| CRIBROSP | 0.1811  | 0.3314  | -0.7716 | 0.8229       |
| EIFFELIT | 0.8602  | 0.0826  | 0.1835  | 0.9732       |
| EPROLITH | -0.2105 | 0.6476  | 0.0277  | 0.8840       |
| GARTNERA | 0.7659  | 0.2659  | -0.2445 | 0.9690       |
| GLAUKOLI | 0.3355  | 0.1662  | -0.5012 | 0.8963       |
| KAMPTENE | 0.8066  | 0.4528  | 0.2465  | 0.9642       |
| PLACOZYG | 0.5037  | 0.1535  | -0.1488 | 0.8658       |
| PREDISCO | 0.8178  | 0.1673  | -0.2626 | 0.9931       |
| RHAGODIS | 0.3453  | -0.5152 | 0.3537  | 0.8890       |
| SERIBISC | -0.5808 | -0.4972 | 0.2063  | 0.9835       |
| STAUROLI | 0.2873  | 0.1005  | -0.6982 | 0.9022       |
| STRADNER | -0.0415 | -0.5511 | 0.3572  | 0.8530       |
| THERSTE  | 0.3110  | 0.3468  | -0.3123 | 0.8749       |
| TRANOLIT | -0.2893 | -0.6394 | 0.2847  | 0.9768       |
| VAGALAPI | 0.0670  | 0.1709  | -0.8728 | 0.9786       |
| WATZANU  | -0.8555 | -0.2057 | 0.4645  | 0.9984       |

Tabela 7.9 - Matriz de cargas das variáveis.

| AMOSTRA | FATOR 1 | FATOR 2 | FATOR 3 |
|---------|---------|---------|---------|
| 394.70  | -0.0987 | 0.5599  | -2.4488 |
| 394.90  | -0.1190 | 0.3795  | -1.1745 |
| 395.10  | -0.1204 | 0.5838  | -1.5654 |
| 395.30  | -0.5217 | 1.4360  | -1.4237 |
| 395.49  | 0.1479  | 0.1481  | -1.7176 |
| 395.70  | -0.0550 | -0.5056 | -0.9649 |
| 395.89  | 0.6590  | -0.7134 | -1.4701 |
| 396.20  | 0.0890  | 0.1924  | -0.0486 |
| 396.40  | -1.8424 | 2.6178  | 0.5302  |
| 396.59  | 0.4333  | -0.1590 | -1.4704 |
| 396.79  | 0.1942  | 0.3239  | -0.4115 |
| 396.99  | -0.7436 | 1.2432  | 0.4751  |
| 411.70  | 1.2024  | 0.1070  | -0.1832 |
| 411.90  | 1.8606  | -1.0939 | -0.1964 |
| 412.10  | 0.9205  | 1.3487  | 1.0723  |
| 412.30  | 1.1485  | 0.2887  | 0.5922  |
| 412.51  | 1.9597  | 0.5991  | 0.6447  |
| 412.69  | 1.5898  | -0.0937 | 0.7551  |
| 413.67  | 0.3014  | 0.9757  | 2.0957  |
| 413.89  | 1.5768  | 0.3471  | 0.8643  |
| 414.10  | 0.0826  | 0.4114  | 0.7304  |
| 414.30  | -0.5611 | 0.8958  | 1.0602  |
| 429.18  | -1.4749 | -0.2614 | 0.6169  |
| 429.39  | -2.0555 | 0.8963  | 0.6994  |
| 429.59  | -0.7178 | -1.7944 | 0.2426  |
| 429.80  | -0.5807 | -1.6828 | 0.4227  |
| 430.00  | -1.0587 | -1.1438 | 0.5190  |
| 430.20  | -1.0999 | -0.8330 | 0.4172  |
| 430.39  | -0.8204 | -0.9572 | 0.7124  |
| 430.69  | 0.4343  | -2.1245 | 0.1603  |
| 430.89  | -0.7446 | -2.0211 | 0.5524  |

Tabela 7.11 - Matriz de escores.

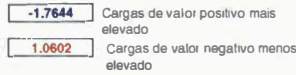
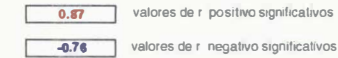


Tabela 7.10 - Matriz de correlação do poço. ( r ) coeficiente de pearson; a=0,05



(intervalo 394,70-414,30; Anexo 1). Tal fato pode indicar uma mudança no padrão de circulação na passagem do Cenomaniano para o Turoniano (Fig. 7.3).

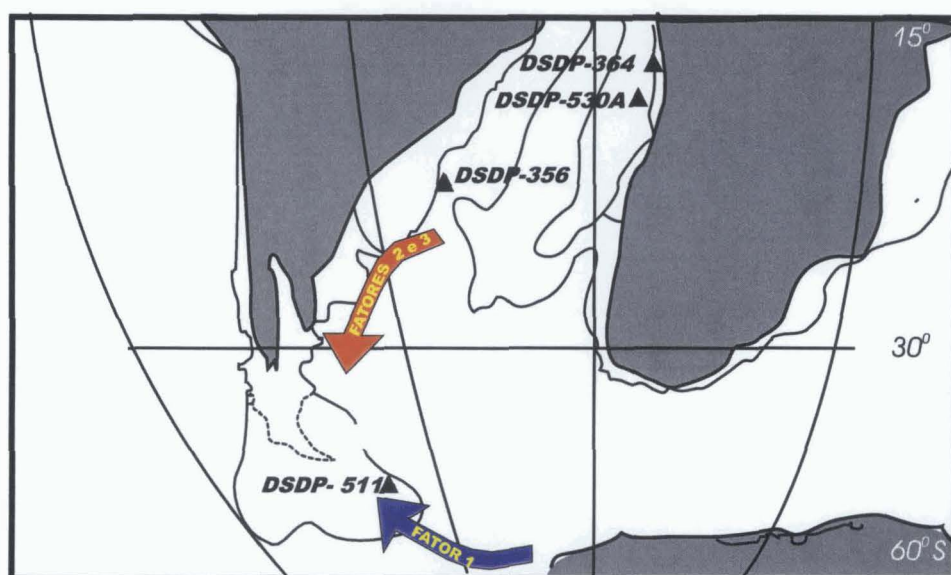
Os valores de  $\delta^{18}\text{O}$  e  $\delta^{13}\text{C}$  tornam-se gradativamente menores na parte superior da seção (Turoniano-Coniaciano). A covariância positiva entre esses parâmetros, poderia ser indicativa de alteração diagenética. Ainda que os processos causadores de alterações nos valores primários destas variáveis sejam independentes, a covariação positiva destes dois parâmetros têm freqüentemente sido interpretada como produto de diagênese (capítulo 6). O aumento do COT concomitante com a redução dos valores de  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{18}\text{O}$  poderia indicar a dissolução do carbonato induzida pela degradação da MO, precipitando, posteriormente, cimento isotopicamente mais leve. Entretanto, a inexistência de sinais sugestivos de acentuada dissolução (Foto 7.2) aponta para uma causa primária (salinidade, temperatura ou produtividade). Adicionalmente, o domínio dos gêneros *Watznaueria* e *Seribiscutum* na parte inferior da seção poderiam ainda ser interpretado como produto da dissolução de espécies menos resistentes pelo ingresso de águas frias de fundo, e conseqüente elevação da CCD. Desta forma, relaciona-se a redução dos valores de  $\delta^{13}\text{C}$  e de  $\delta^{18}\text{O}$  à diminuição de produtividade induzidas pela redução do influxo de águas frias e ricas em nutrientes.

O aumento do COT e a redução do carbonato, observados na parte superior da seção, associam-se também à redução do aporte de águas mais frias e oxigenadas; Águas depletadas em oxigênio são mais adequadas à preservação da MO, mesmo em um contexto de produtividade reduzida.

O gênero *Watznaueria* tem sido associado à baixa fertilidade por vários autores (Thierstein, 1976; Roth & Krumbach, 1986; Williams & Bralower, 1995; Windley, 1995). Entretanto, a correlação negativa deste grupo com a maioria dos nanofósseis, normalmente relacionados a condições oligotróficas, e positiva com valores de  $\delta^{13}\text{C}$ , que é usado como indicador de produtividade, sugerem justamente o oposto.

O segundo fator está relacionado às variáveis EPROLITH (*Eprolithus*), KAMPTENE (*Kamptnerius*) e COT (positivos na matriz de cargas; Tab. 7.9). Os valores mais negativos correspondem às variáveis CACO3 (teor de carbonato), D13C ( $\delta^{13}\text{C}$ ), D18O ( $\delta^{18}\text{O}$ ), ESPECI\_C (número de espécies por campo), RHAGODIS (*Rhagodiscus*), STRADNER (*Stradneria*) e TRANOLIT (*Tranolithus*; Tab. 7.9). Na planilha de dados observa-se que de fato os valores do COT e EPROLITH sofrem um aumento gradativo da base (Cenomaniano)





#### FATOR 1

Fluxo de águas mais frias:  $\delta^{18}\text{O} \cong -0,5\text{‰}$

Maior produtividade:  $\delta^{13}\text{C} \cong +2\text{‰}$

Menor diversidade: índice de Shannon Weaver  $\cong 1,5$

Gêneros dominantes: *Watznaueria* e *Seribiscutum*

Intervalo cronoestratigráfico: Cenomaniano Superior

#### FATORES 2 e 3

Fluxo de águas mais quentes:  $\delta^{18}\text{O} \cong -2,8\text{‰}$

Menor produtividade:  $\delta^{13}\text{C} \cong +0,5\text{‰}$

Maior diversidade: índice de Shannon Weaver  $\cong 2,5$

Intervalo cronoestratigráfico: Turoniano-Coniaciano

Figura 7.3 - A análise fatorial dos dados paleontológicos e geoquímicos do poço DSDP-511, sugere que o principal controle dos fatores é feito pelas variações no padrão de circulação oceânica.

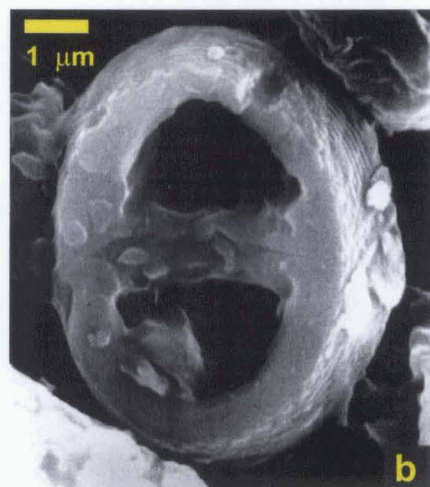
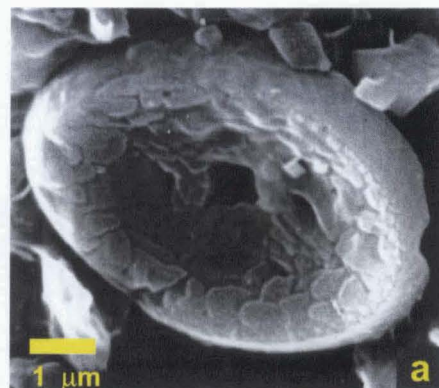
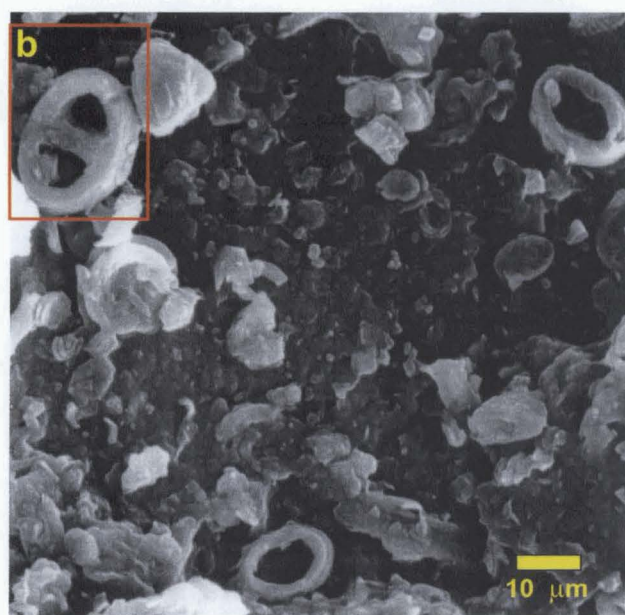
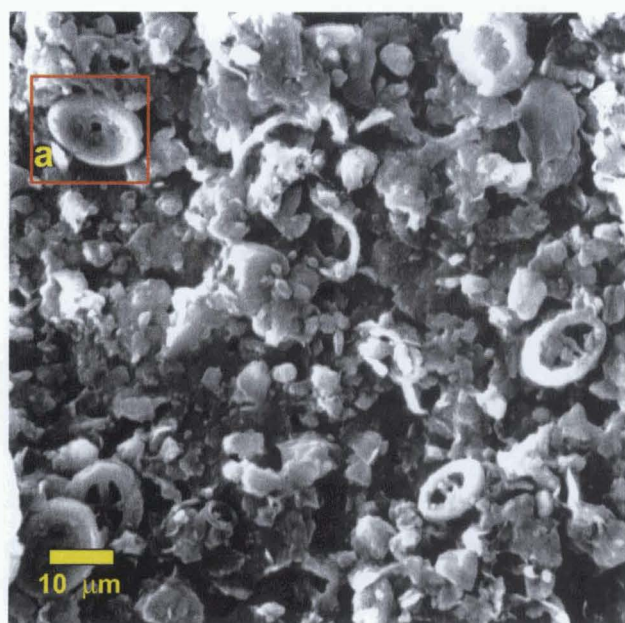


Foto 7.2 - Análise ao MEV da amostra coletada em 411,90 m no poço DSDP-511. Os nanofósseis e fragmentos de carbonatos muito pequenos não apresentam sinais de dissolução. Interpreta-se que o sinal isotópico desta seção representa as condições paleoceanográficas primárias.

para o topo (Turoniano-Coniaciano) da seção (Tab. 7.7). O gênero *Kamptnerius* está associado a este fator devido à sua amplitude bioestratigráfica. Como este gênero na seção estudada é restrito ao Turoniano, que é o intervalo que apresenta maiores teores de carbono orgânico e abundância de *Eprolithus*, a análise fatorial incluiu-o nas variáveis importante para o fator 2. O aumento dos *Eprolithus* e do COT associado à redução do teor de carbonato, sugere que a abundância de nanofósseis pode ser interpretada também como produto da mudança gradativa do padrão de circulação. Provavelmente, este fator relacione-se ao aumento do influxo de águas quentes de latitudes mais baixas, contrapondo-se à redução do influxo de águas provenientes de altas latitudes verificada no fator 1 (Fig. 7.3).

O terceiro fator relaciona-se ao COT, índice de Shannon-Weaver (SHANNON) e aos gêneros *Ahmuellerella* (AHMUELLE), *Biscutum* (BISCUTUM), *Cribrosphaerella* (CRIBROSP), *Glaukolithus* (GLAUKOLI), *Staurolitites* (STAUROLI) e *Vagalapila* (VAGALAPI), todos com carga negativa na matriz de cargas (Tab. 7.9). Somente a variável WATZNAU (*Watznaueria*) possui valor positivo relativamente alto. Na base de dados e na matriz de escores (Tab. 7.11) nota-se que as amostras que mais contribuíram para este fator estão no topo da seção estudada. Caracterizam-se por COT elevado e abundância dos gêneros relacionados a este fator (Tab. 7.7). Uma das interpretações possíveis para este fator, é associá-lo também a contribuição de águas mais quentes. Segundo Williams & Bralower (1995), a espécie *Vagalapila stradneri* reflete ambientes de alta fertilidade. Porém, como discutido anteriormente, acredita-se que o  $\delta^{13}\text{C}$  foi deslocado para valores menos positivos devido à redução da produtividade.

A figura 7.4 (gráfico do fator 1 versus o fator 2) ressalta um agrupamento formado pelas variáveis com carga mais negativa para o fator 1 e 2: WATZNAU (*Watznaueria*), SERIBISC (*Seribiscutum*), RHAGODIS (*Rhagodiscus*), STRADNER (*Stradneria*) e TRANOLIT (*Tranolithus*) D18O ( $\delta^{18}\text{O}$ ), CACO3 (teor de carbonato) e D13C ( $\delta^{13}\text{C}$ ), ESPECI\_C (número de espécies por campo). Os gêneros *Watznaueria* e *Seribiscutum*, e talvez os gêneros *Rhagodiscus*, *Stradneria* e *Tranolithus*, são mais sensíveis à variação de temperatura, indicado pelo  $\delta^{18}\text{O}$  (D18O). O teor de carbonato (CACO3) e  $\delta^{13}\text{C}$  (D13C) sugerem aumento de produtividade induzida pelas águas mais frias e oxigenadas. As espécies e parâmetros geoquímicos pertencentes ao outro grupo podem indicar a diminuição das águas frias durante o mesoturoniano (Fig. 7.3).



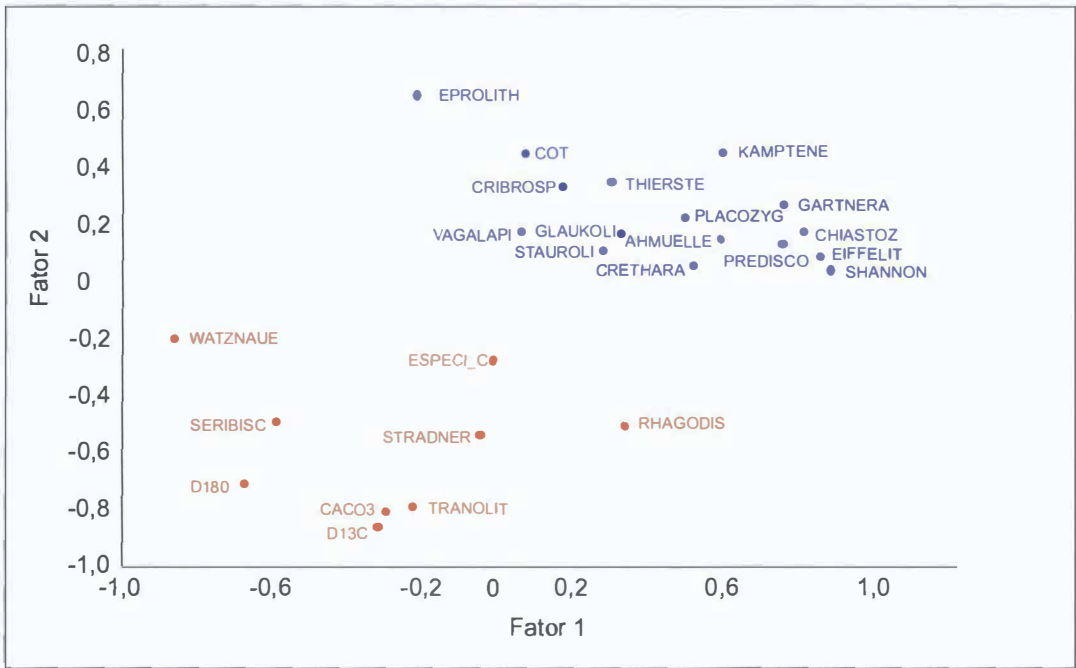


Figura 7.4 - Resultados da análise fatorial do poço DSDP-511. Gráfico mostrando os valores do fator 1 versus o fator 2. Observam-se 2 grupos distintos de variáveis: a) D18O ( $\delta^{18}\text{O}$ ), D13C( $\delta^{13}\text{C}$ ), CACO3 ( $\text{CaCO}_3$ ), ESPEC\_C (espécimes por campo), WATZNAUE (*Watznaueria* spp.), SERIBISC (*Seribuscutum* spp.), STRADNER (*Stradneria* spp.) e TRANOLIT (*Tranolithus* spp.); b) demais parâmetros geoquímicos e gêneros. O primeiro grupo associa-se aos valores negativos dos dois fatores sendo interpretado como relacionado à influência de águas frias do pólo. O segundo, à diminuição do influxo destas águas, ou entrada de águas mais quentes provenientes de latitudes menores, favorecendo a proliferação da maioria dos nanofósseis e as condições de preservação da MO.

## 7.2 BIOESTRATIGRAFIA

A maioria dos zoneamento bioestratigráficos de nanofósseis calcários elaborados para o Cretáceo superior não apresentam uma resolução compatível com estudos cicloestratigráficos. Nos trabalhos clássicos de Cepek & Hay (1969), Thierstein (1976), Veerbek (1976), Sissingh (1977) e Perch-Nielsen (1985), o intervalo Cenomaniano Superior-Turoniano tem sido caracterizado por apenas uma ou duas biozonas. O reduzido número de eventos biológicos utilizados nestes zoneamentos torna-os inadequados para estudos estratigráficos de alta resolução.

Existem dois zoneamentos bioestratigráficos de nanofósseis que enfocam com detalhe o Cenomaniano e o Turoniano: Bralower (1988) e Burnett (1998). O estudo de Bralower (1988) destaca-se pela abrangência da área de estudo e pelo número de eventos biológicos averiguados. Apesar de incluir alguns afloramentos e poços das províncias boreal (Norte da Alemanha) e Austral (poço do DSDP-551), este autor estudou principalmente os afloramentos localizados em áreas tetianas, como o mar epicontinental do Estados Unidos (*North American Seaway*), Bacia Anglo-Paris, norte da Itália (Fossa Vocotiana) e Tunísia. A análise destas seções permitiu a Bralower (1988) posicionar estratigraficamente os principais eventos biológicos de nanofósseis utilizados para caracterizar o Cenomaniano-Turoniano. Contudo, estudos posteriores realizados nas mesmas bacias demonstraram que o posicionamento estratigráfico de algumas espécies estão deslocado, ou mal calibrado, em relação aos GSSP's (*Global Boundary Stratotype and Point*) propostos para o Cenomaniano e o Turoniano.

De modo geral, os trabalhos realizados em áreas tetianas, defendem que os eventos que melhor caracterizam a parte superior do Cenomaniano e a inferior do Turoniano são as últimas ocorrências de *Corolithium kennedy*, *Axopodorhabdus albianus*, *Litraphidites acutus* e *Microstaurus chiastius*, e as primeiras ocorrências de *Quadrum gartneri*, *Eprolithus eptapetalus* e *Eprolithus octopetalus* (Jarvis *et al.*, 1988, Bacia Anglo-Paris, Inglaterra; Lamolda *et al.*, 1997, norte da Espanha; Nederbragt & Fiorentino, 1999, Tunísia). As últimas ocorrências *L. acutus*, *C. kennedy*, *A. albianus* e *M. chiastius* estão no intervalo abaixo do nível estratigráfico relacionado ao surgimento do amonóide *Watinoceras devonense*, que vem a ser o evento biológico que delimita o Cenomaniano-Turoniano (Bengtson, 1996). A primeira ocorrência de *Q. gartneri*, *E. eptapetalus* e *E. octapetalus* estão acima deste evento, portanto

no Turoniano. Contudo, Bralower (1988) posicionou a primeira ocorrência de *Q. gartneri* abaixo das últimas ocorrências de *A. albianus* e *M. chiastius*, estando estes eventos no Cenomaniano. O autor assinala a primeira ocorrência do amonóide *Watinoceras coloradoense*, corresponde estratigraficamente ao surgimento de *W. devonense*, ao limite inferior do Turoniano (Fig. 7.5).

Burnett (1998) propôs um zoneamento bioestratigráfico para o Cretáceo superior do norte da Europa, no qual a subdivisão do Cenomaniano Superior e Turoniano foi feita utilizando a última ocorrência de *Helenia chiasta* (= *Microstaurus chiastius*) e as primeiras ocorrências de *Q. gartneri*, *Eiffelithus eximius* e *L. septenarius* (= *Lithastrinus moratus sensu* Varol, 1992). Estes eventos, todos de idade turoniana, definem, respectivamente, o topo das unidades denominadas pela autora como UC-5, UC-6, UC-7 e UC-8. A biozona UC-5 apresenta a base posicionada no Cenomaniano Superior, definida pela última ocorrência de *L. acutus*. O topo da biozona UC-9, de idade coniaciana, é assinalado pela primeira ocorrência de *Micula staurophora* (= *M. decussata*). A autora ainda propõe alguns outros eventos para subdividir estas biozonas: A última ocorrência de *A. albianus* e a primeira do *Quadrum intermedium* (5 raios), que são considerados eventos sucessivos e de idade Cenomaniana, subdividem a Biozona UC-5 em UC-5a, UC-5b e UC-5c. A primeira ocorrência de *E. moratus* (= *Eprolithus eptapetalus sensu* Varol, 1992) subdivide a zona UC-6 em UC-6a e UC-6b; A biozona UC-8 é subdividida em duas sub-unidades pela primeira ocorrência de *Lucianorhabdus quadrifidus*. A biozona UC-9 foi subdividida em três sub-unidades pelas primeiras ocorrências das espécies *Zeghrabdotus biperfuratus* e *Broinsonia parca expansa* (Fig. 7.5).

A sucessão estratigráfica dos principais eventos utilizados por Burnett (1998) é praticamente a mesma dos trabalhos de Sissingh (1977), Perch-Nielsen (1985), von Salis (1998) e Nederbragt & Fiorentino (1999). Contudo, a última ocorrência de *Microstaurus chiastius* é considerado como um evento do Turoniano. A primeira ocorrência da espécie *Eiffelithus eximius*, utilizada por Burnett (1988) para definir o topo da biozona UC-7 é posicionada no Turoniano, de maneira similar ao estabelecido por vários outros autores (Sissingh, 1977 e Perch-Nielsen, 1985). Bralower (1988), provavelmente utilizando critérios taxonômicos menos restritivos, posicionou este evento no topo do Cenomaniano.



A sucessão estratigráfica de muitos dos bioeventos de nanofósseis reconhecidos nos poços DSDP-356, DSDP-364, DSDP-511 e DSDP-530A coincidem com a sucessão estabelecida por Burnett (1998). Desta forma, adotou-se o zoneamento proposto por esta autora, que adicionalmente apresenta a vantagem de estar calibrado com os zoneamentos de amonóides da Europa e América do Norte (Fig. 7.5). A integração dos zoneamentos de nanofósseis e amonóides apresentada por Burnett (1998) é muito similar à integração obtida entre os dados de nanofósseis levantados neste trabalho, com os de amonóides e foraminíferos publicados por Koutsoukos & Bengtson (1993) para a Bacia de Sergipe (Fig. 7.5). Entretanto, cabe ressaltar, que as últimas ocorrências de *E. apertior* e *E. octopetalus* assim como as primeiras ocorrências de *M. furcatus*, *L. septenarius*(=*Lithastrinus moratus sensu* Varol, 1992), *K. magnificus* e *T. ecclesiastica* são considerados por Burnett (1998) como eventos acentuadamente dependentes da província biopaleogeográfica considerada. Estes eventos, com exceção de *M. furcatus*, posicionado na Zona UC-9, foram considerados com pertencentes a zona UC-8. As últimas ocorrências de *R. planus*, posicionado no topo da Biozona UC-8, e *R. asper*, posicionado na Biozona UC-5, foram considerados como eventos auxiliares importantes (Fig. 7.5).

O zoneamento proposto por Burnett (1998) apesar de ser bastante adequado aos poços do DSDP, é de difícil aplicação nos poços da plataforma continental brasileira, uma vez que a amostragem nestes poços é predominantemente constituída por amostras de calha. Nestas situações os eventos auxiliares, fundamentado em últimas ocorrências, e a utilização de testemunhos permitiram delimitar as zonas propostas por Burnett (1998). Na verdade, uma grande parte dos eventos de extinção (última ocorrência) reconhecidos por Burnett (1998) são aplicados nas definições das biozonas utilizadas pela PETROBRAS (Cunha *et al.*, 1993; Oliveira, 1997; Antunes, 1998). Destes eventos, os mais importantes para o Cenomaniano Superior e Turoniano são as últimas ocorrências de *A. albianus* (topo da zona da PETROBRAS codificada como N-260.1), *R. planus* (N-260.3), *E. eptapetalus* (= *L. moratus sensu* Burnett, 1998; N-260.4) e *Eprolithus floralis* (N-260.5). A última ocorrência de *A. albianus* é considerada como um evento do Cenomaniano, enquanto que a última ocorrência da espécie *R. planus* está no Turoniano. As últimas ocorrências de *E. floralis* e *E. eptapetalus* posicionam-se em estratos do Coniaciano. Oliveira (1997) correlaciona estes dois últimos evento com a Biozona CC-14 de Sissingh (1977), que de acordo com Burnett (1998), corresponde à Biozona UC-10. No presente trabalho posicionou-se a última ocorrência de *E.*



*eptapetalus* na Zona UC-9, já que em nenhum dos poços estudados observou-se a sobreposição desta espécie com *M. decussata*, espécie-guia da base da Biozona CC-10.

Ainda que o zoneamento biocronoestratigráfico adotado permita uma correlação compatível com a cicloestratigrafia, estudos de alta resolução estratigráfica necessitam que esta subdivisão tenha conotação geocronológica, ou seja, é necessário atribuir idades absolutas para o topo e base das unidades bioestratigráficas. A grande maioria das escalas de tempo absoluto propostas para o Cretáceo utilizam um reduzido número de pontos de controle, sendo a idade absoluta dos limites dos andares inferida por métodos matemáticos de interpolação. A atribuição de idades absolutas para os limites das biozonas é ainda mais difícil, pois implica em um número ainda maior de interpolações. Deste modo, existem poucas cartas geocronoestratigráficas que atribuem aos limites das biozonas de nanofósseis idades absolutas. Cabe ainda ressaltar que para o intervalo Cenomaniano e Turoniano não é possível a utilização da escala de inversões magnéticas, já que estes andares correspondem a zona de quietude (zona de polaridade magnética C34N), intervalo entre o Albiano e Santoniano desprovido de inversões magnéticas.

As duas cartas mais recentes e importantes para o Cretáceo Superior foram elaboradas por Obradovich (1993) e Gradstein *et al.* (1994). Segundo estas escalas temporais a duração do Cenomaniano é de cerca 5,3 Ma e do Turoniano 4,5 Ma. Destas cartas a que apresenta um maior controle geocronológico para o Cenomaniano e Turoniano é a de Obradovich (1993). Este autor utilizou cerca de 30 datações radiométricas (método  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  em minerais de bentonitas) feitas em amostras da bacia Norte-americana *Western Interior* para estabelecer a idade dos andares do Cretáceo Superior. Três destas datações foram feitas no Cenomaniano Superior e quatro no Turoniano. Estes dados foram calibrados com as zonas de amonóides e permitiram uma resolução da ordem de 0,5 Ma. Posteriormente, Gradstein *et al.* (1994), utilizando a mesma base de dados realizou uma nova interpolação matemática, diferente da aplicada por Obradovich (1993). Comparando as cartas geocronoestratigráficas destes autores, observa-se que o resultado final são idades ligeiramente diferentes para o limite Cenomaniano-Turoniano, mas acentuadamente distintos para o Turoniano-Coniaciano.

A adoção de idades absolutas para os limites das unidades bioestratigráficas é uma tarefa de certa forma subjetiva, que envolve a utilização de uma determinada sucessão de eventos biológicos amarrados a uma escala geocronológica. O procedimento mais simples para atribuir-se uma idade absoluta a uma biozona é dividir a estimativa temporal do andar



pelo número de biozonas na qual ele foi subdividido, assumindo que todas as biozonas têm a mesma duração. Obviamente este artifício envolve a adoção de uma série de critérios, podendo implicar em erros consideráveis.

Neste trabalho adotou-se a escala temporal de Gradstein *et al.* (1994); considerando-se a subdivisão do andar Turoniano em quatro biozonas (UC-6, UC-7, UC-8 e UC-9), dividiu-se a duração deste andar (4,5 Ma) por 3,5. A divisão foi feita por 3,5 ao invés de 4, porque somente 50% da biozona UC-9 foi considerada como turoniana. O intervalo da Zona UC-5 pertencente ao Turoniano foi desprezado neste cálculo. O valor resultante foi 1,3 Ma, assumido como representativo da duração de cada uma das biozonas (Fig. 7.5).

Uma abordagem alternativa para atribuição de idades absolutas aos eventos de nanofósseis seria utilizar o trabalho de Bralower *et al.* (1995). Estes autores analisaram três amostras do Cenomaniano Superior-Coniaciano previamente estudadas por Obradovich (1993). A primeira amostra do Cenomaniano Superior, caracterizada pela presença dos nanofósseis *A. albianus*, *C. kennedy* e *M. chiastius* (= *H. chiastia*), foi datada como tendo  $94,63 \pm 0,61$  Ma. A segunda amostra, também do Cenomaniano Superior ( $94,55 \pm 0,47$  Ma) apresentava as espécies *E. eximius* e *Q. gartneri*, sendo que as espécies citadas anteriormente estavam ausentes. A amostra mais nova (Coniaciano;  $88,34 \pm 0,61$  Ma) continha as espécies *M. furcatus*, *M. staurophora* (= *M. decussata*) e *R. anthophorus*. A princípio esta sucessão de eventos é plenamente compatível com a maioria dos zoneamentos estabelecidos para este intervalo, mesmo considerando que a ocorrência de *E. eximius* e *Q. gartneri* em estratos do Cenomaniano Superior é pouco usual, e portanto, questionável. O maior problema na utilização da idade absoluta destes eventos refere-se a pequena diferença temporal existente entre as associações reconhecidas na primeira e na segunda amostras (cerca de 100 ka). Se a relação temporal entre estes eventos fosse assumida como correta, a taxa de acumulação de diversas seções do Turoniano seria muito elevada e incompatível com os sistemas pelágicos-hemipelágicos que elas representam. Por exemplo, na seção estudada por Lamolda *et al.* (1997), constituída por depósitos hemipelágicos de plataforma externa (Seção Ganuza, Espanha), a última ocorrência de *A. albianus* encontra-se mais de 25 m abaixo da primeira ocorrência de *Q. gartneri*, assumindo um lapso de tempo de 100 ka entre estes eventos, teríamos uma taxa de acumulação de 25 cm/ka, incompatível com o contexto deposicional.

Desta forma, concluí-se que os resultados obtidos por Bralower *et al.* (1995), especialmente aqueles referentes às primeiras ocorrências de *Q. gartneri* e *E. eximius* e a

última ocorrência de *A. albianus*, apresentam problemas de calibração em relação aos andares Cenomaniano-Turoniano. Conforme abordagem anterior, problemas taxonômicos podem também ter causado tais distorções. Qualquer discussão sob este enfoque é prejudicada pela falta de estampas que retratem as espécies *E. eximius* e *Q. gartneri* no trabalho de Bralower *et al.* (1995).

Os dados publicados em von Salis (1998) corroboram em parte as interpretações geocronológicas adotadas neste trabalho. Segundo a autora, *M. chiastius* e *C. kennedy* teriam sua última ocorrência no Cenomaniano, respectivamente em 94,4 e 94,1 Ma (utilizando a escala de tempo de Obradovich *et al.*, 1995). As últimas ocorrências de *Q. gartneri* e *E. eximius* foram datadas como 93,53 Ma (Cenomaniano) e 91,02 Ma (Turoniano), respectivamente. A extinção de *M. decussata* foi datada como 88,55 Ma, estando no Coniaciano. Utilizando estes números obtêm-se os seguintes valores para a duração das biozonas: 0,9 Ma para a Biozona UC-6; 2,5 Ma para a Biozona UC-7; 2,6 Ma para o agrupamento das zonas UC-8 e UC-9 (porção turoniana). Desta forma, o valor atribuído ao intervalo correspondente às biozonas UC-8 e UC-9 é exatamente igual ao adotado neste trabalho. O intervalo estimado para as biozonas UC-6 e UC-7 difere do adotado neste trabalho porque de acordo com von Salis (1998) as extinções de *M. chiastius* e *Q. gartneri* são eventos do Cenomaniano. von Salis (1998) posiciona a última ocorrência de *M. chiastius* abaixo da última ocorrência de *C. kennedy*, quase 1 Ma antes do limite Cenomaniano-Turoniano. Pelo aqui adotado, credita-se que a última ocorrência de *M. chiastius* e *Q. gartneri* são eventos do Turoniano, sendo a última ocorrência de *M. chiastius* posicionada acima da última ocorrência de *C. kennedy*.

### 7.3 SISTEMÁTICA

A falta de conhecimento da afinidade biológica da maioria dos fósseis agrupados sob a designação de nanofósseis calcários faz com que a subdivisão taxonômica deste grupo siga critérios arbitrários. Dentre as várias propostas de classificação sistemática destacam-se os trabalhos de Hay (1977), Perch-Nielsen (1985) e Bown & Young (1997). Neste trabalho, de modo similar ao utilizado por Antunes (1998), adotou-se a classificação ao nível de família segundo Perch-Nielsen (1985), e o agrupamento das famílias em heterococólitos, holococólitos e nanolitos de acordo com Bown & Young (1997).

Não foram feitas descrições dos fósseis, uma vez que o enfoque deste trabalho não é taxonômico. Entretanto as espécies observadas encontram-se ilustradas nas estampas do anexo 13 (Estampas 1-9). Devido a falta de consenso da conceituação taxonômica de algumas das espécies-guia tornou-se necessário fazer algumas observações.

### 7.3.1 Heterococolitos

#### Família Ahmuellerellaceae Reinhardt, 1964

##### Gênero Ahmuellerellaceae Reinhardt, 1964

##### *Ahmuellerella octoradiata* (Gorka, 1957)

(Estampa 1, Figs. 1a e 1b)

1957 *Discolithus octoradiatus* Gorka, p. 259; est. 4, fig. 10.

1964 *Ahmuellerellaceae octoradiata* (Gorka) Reinhardt, p. 751; est. 1, fig. 6; est. 2, figs. 1 e 2.

1985 *Ahmuellerellaceae octoradiata* (Gorka) – Perch-Nielsen, p. 349; figs. 12, 15 e 16.

1998 *Ahmuellerellaceae octoradiata* (Gorka) – Burnett, p. 167; figs. 1 e 2.

##### Gênero *Vagalapilla* Bukry, 1969

##### *Vagalapilla matalosa* (Stover, 1966)

(Estampa 1, Figs. 2a e 2b)

1966 *Coccolithus matalosus* Stover, p. 139; est. 2, figs. 1a-c e 2a-b; est. 8, figs. 10.

1973 *Vagalapilla matalosa* (Stover) Thierstein, p.37-38; est. 3, figs. 15-18.

1985 *Vagalapilla matalosa* (Stover) - Perch-Nielsen, p. 350; figs. 12.7-5.

##### Gênero *Staurolithites* Caratini, 1973

(não ilustrado)

Obs.: Neste gênero foram incluídas todas as espécies com parede simples composta de elementos inclinados e com uma cruz central. De acordo com Perch-Nielsen (1985), os gêneros *Staurorhabdulus*, *Vagalapilla* e *Vekshinella* são considerados sinônimos junior do gênero *Staurolithite*. A espécie mais comum nas amostras estudadas poderia ser classificada como *S. crux* (= *Zygolithus crux* Deflandre in Deflandre & Fert, 1954). Segundo Perch-Nielsen (1985), esta denominação tem sido utilizada para agrupar diversas espécies elípticas,

com cruz central, sendo, portanto, pouco precisa. Em Stover (1966; p. 155, figs. 21 e 22) encontra-se ilustrada adequadamente a espécie de *Staurolithites* (*S. crux* ?) encontrada em maior abundância nas amostras analisadas.

### Família Arkhangelskiellacea Bukry, 1969

Gênero *Thiersteinia* Wise & Watkins in Wise, 1983.

*Thiersteinia ecclesiastica* Wise & Watkins in Wise, 1983.

(Estampa 1, Figs. 3a e 3b)

1983 *Thiersteinia ecclesiastica* Wise & Watkins in Wise; est. 16, figs. 1-9.

1985 *Thiersteinia ecclesiastica* Wise & Watkins in Wise – Perch-Nielsen, p. 355; figs. 12, 13 e 14.

1998 *Thiersteinia ecclesiastica* Wise & Watkins in Wise – Burnett, p. 183; figs. 28 e 29.

Gênero *Broinsonia* Bukry, 1969

*Broinsonia parca* (Stradner, 1963) Bukry, 1969 ssp. *expansa* Wise & Watkins in Wise, 1983

(Estampa 1, Figs. 4a e 4b)

1963 *Arkhangelskiella parca* Stradner, p. 10; est. 1, figs 3-3a.

1969 *Broinsonia parca* (Stradner) Bukry, p. 23; est. 3, figs. 3-10.

1983 *Broinsonia parca* (Stradner) ssp. *expansa* Wise & Watkins in Wise, p. 526; est. 11, figs. 1-9.

1998 *Broinsonia parca expansa* (Stradner) – Burnett, p. 182, figs. 11.

Obs.: Foram ainda reconhecidas espécimes pertencente ao gênero *Broinsonia* de dimensões muito reduzidas. A forma mais comum poderia ser classificada com *Broinsonia bevieri*. Entretanto, devido a grande similaridade das espécies de *Broinsonia* de tamanho reduzido (por exemplo, *B. signata*, *B. dentata*, *B. lata*), cuja classificação em microscópio ótico é bastante difícil, optou-se em classificá-las a nível genérico. A espécie mais freqüente deste grupo está ilustrada na estampa 1, figuras 7a e 7b.

Gênero *Gartnerago* Bukry, 1969

*Gartnerago nanum* Thierstein, 1974

(Estampa 1, Figs. 5a e 5b)

1974 *Gartnerago nanum* Thierstein, p. 647; est. 2, figs. 1-13.

1998 *Gartnerago nanum* Thierstein – Burnett, p. 184; figs. 11 e 12.

### *Gartnerago obliquum* (Stradner, 1963)

(Estampa 1, Figs. 6a e 6b)

1963 *Arkhangelskiella obliqua* Stradner, p. 10; est. 1, figs. 2-2a.

1970 *Gartnerago obliquum* (Stradner) Noël, p. 298; est. 4, fig. 3.

1985 *Gartnerago obliquum* (Stradner) – Perch-Nielsen, p. 355; figs. 15.17-18.

1998 *Gartnerago obliquum* (Stradner) – Burnett, p. 185, figs. 3.

### Gênero *Kamptnerius* Deflandre, 1959

#### *Kamptnerius magnificus* Deflandre, 1959

(Estampa 1, Figs. 8a e 8b)

1959 *Kamptnerius magnificus* Deflandre, p.135; est.1, fig. 1-4.

1985 *Kamptnerius magnificus* Deflandre – Perch-Nielsen, p. 353; figs. 25-27.

### Família Biscutacea Black, 1971

#### Gênero *Biscutum* Black in Black & Barnes, 1959

Obs.: O MEV é o método mais adequado para estudar este grupo devido à pequena dimensão das suas espécies. Provavelmente, em face a esta restrição metodológica, observa-se na literatura que a classificação específica deste grupo é bastante complicada e eventualmente confusa. Entre os poços estudados, somente no poço DSDP-511 este gênero foi identificado em quantidades relativamente elevadas e bem preservado. Mesmo assim, considerando as dificuldades no reconhecimento e individualização das espécies de *Biscutum*, optou-se em ilustrar somente duas espécies: *Biscutum constans* e *Biscutum* aff. *B. dissimilis*. A primeira espécie é freqüente em todos os poços, enquanto que *Biscutum* aff. *B. dissimilis* é restrito ao poço DSDP-511.

#### *Biscutum constans* (Górka, 1957)

(Estampa 1, Fig. 9)

1957 *Discolithus constans* Górka, p. 258; est. 4, fig. 7.

1959 *Biscutum constans* (Górka) Black in Black & Barnes, p. 139; pl. 10, fig. 2.

1998 *Biscutum ellipticum* (Górka) – Burnett, p. 177, figs. 21a-c.

*Biscutum* aff. *Biscutum dissimilis* Wind & Wise in Wise & Wind, 1977

(Estampa 1, Fig. 10)

1977 *Biscutum* aff. *Biscutum dissimilis* Wind & Wise in Wise & Wind, p. 361; est. 24, figs. 7-9.

1998 *Biscutum dissimilis* Wind & Wise in Wise & Wind – Burnett, p. 177, fig. 27

Gênero *Seribiscutum* Filewicz, Wise & Wind in Wise & Wind, 1977

*Seribiscutum primitivum* (Thierstein, 1974)

(Estampa 1, Figs. 11a e 11b)

1974 *Cribrosphaerela primitiva* Thierstein, p. 637; est. 1, figs. 1-3.

1977 *Seribiscutum primitivum* (Thierstein) Filewicz *et al.* in Wise & Wind, p. 311; est. 66, figs. 4-6; est. 67, figs. 1-4.

1983 *Seribiscutum primitivum* (Thierstein) – Wise, p. 535; est. 20, figs. 4-5.

1998 *Seribiscutum primitivum* (Thierstein) – Burnett, p. 179, fig. 9.

Gênero *Discorhabdus* Noël, 1965

*Discorhabdus ignotus* (Górka, 1957)

(Estampa 1, Fig. 12)

1957 *Tremalithus ignotus* Górka, p. 248; est. 2, fig. 7.

1968 *Discorhabdus ignotus* (Górka) Perch-Nielsen, p. 81; est. 28, figs. 6-9.

1998 *Discorhabdus ignotus* (Górka) – Burnett, p. 179, figs. 6 e 7.

Família *Chiastozygaceae* Rood *et al.*, 1973

Gênero *Chiastozygus* Gartner, 1968

*Chiastozygus litterarius* (Górka, 1957)

(Estampa 2, Figs. 1a e 1b)

1957 *Discolithus litterarius* Górka, p. 274; est. 3, fig. 3.

1971 *Chiastozygus litterarius* (Górka) Manivit; p. 92, est. 4, figs. 1-5.

1985 *Chiastozygus litterarius* (Górka) – Perch-Nielsen, p. 364; figs. 5-8.

1998 *Chiastozygus litterarius* (Górka) – Burnett, p. 171, fig. 5.

Obs.: *Chiastozygus amphipons* e *Chiastozygus litterarius* são espécies bastante similares. Sua distinção em amostras com pouca preservação pode ser muito difícil. Por esta razão agrupou-se as duas espécies.



Gênero *Helicolithus* Noël, 1970

*Helicolithus trabeculatus* (Górka, 1957)

(Estampa 2, Figs. 2a e 2b)

1957 *Discolithus trabeculatus* Górka, p. 277; est. 3, fig.9.

1977 *Helicolithus trabeculatus* (Górka) Verbeek, p. 90.

1985 *Helicolithus trabeculatus* (Górka) – Perch-Nielsen, p. 364; figs. 29.19-21.

1998 *Helicolithus trabeculatus* (Górka) – Burnett, p. 171, figs. 28a-c e 29.

*Helicolithus anceps* (Górka, 1957)

(Estampa 2, Figs. 3a e 3b)

1957 *Discolithus anceps* Górka, p. 275; est. 3, fig.4 (desenho esquemático).

1970 *Helicolithus anceps* (Górka) Noël, p. 43; est. 6, figs. 2-8.

1998 *Helicolithus anceps* (Górka) – Burnett, p. 171, figs. 25c e 26a-b.

Gênero *Tegumentum* Thierstein in Roth & Thierstein, 1972

*Tegumentum stradneri* Thierstein in Roth & Thierstein, 1972

(Estampa 2, Figs. 4a e 4b)

1972 *Tegumentum stradneri* Thierstein in Roth & Thierstein, p. 437; est. 1, figs. 7-15.

1985 *Tegumentum stradneri* Thierstein – Perch-Nielsen, p.364; figs. 10-13.

1998 *Tegumentum stradneri* Thierstein – Burnett, p. 171, figs. 3a-b.

Família *Eiffellithacea* Reinhardt, 1964

Gênero *Eiffellithus* Reinhardt, 1964

*Eiffellithus turriseiffelii* (Deflandre in Deflandre & Fert, 1954)

(Estampa 2, Figs. 5a e 5b)

1954 *Zycolithus turriseiffelii* Deflandre in Deflandre & Fert, p. 149; est. 13, figs. 15-16.

1964 *Eiffellithus turriseiffelii* (Deflandre) Reinhardt, p. 36; est. 2, fig. 3.

1985 *Eiffellithus turriseiffelii* (Deflandre) – Perch-Nielsen, p. 369; figs. 35.11,12-19.

1998 *Eiffellithus turriseiffelii* (Deflandre) – Burnett, p. 171, fig. 18.

*Eiffellithus eximius* (Stover, 1966)

(Estampa 2, Figs. 6a e 6b)

1966 *Clinorhabdus eximius* Stover, p. 138; est.2, figs. 15a-c.1968 *Eiffellithus eximius* (Stover) Perch-Nielsen, p. 30; est. 3, figs. 8-10.1984 *Eiffellithus eximius* (Stover) – Stradner & Steinmetz, p. 612; est. 15, figs. 7-11.1998 *Eiffellithus eximius* (Stover) – Burnett, p. 171, figs. 22 e 24.

Observação: Os espécimes de *Eiffellithus* considerados neste trabalho como pertencentes à espécie *E. eximius* possuem a estrutura central em cruz paralela aos eixos maior e menor do cocolito. Esta consideração é importante na medida que formas similares, com as pontas da estrutura central bifurcada e a cruz um pouco mais desalinhada que nos exemplares “típicos” de *E. eximius* são registradas desde o final do Cenomaniano.

**Família Ellipsagelosphaeraceae Noël, 1965**Gênero *Manivitella* Thierstein, 1971*Manivitella pemmatoidea* (Deflandre in Manivit, 1965)

(Estampa 2, Fig. 7; Estampa 7, Fig. 4)

1965 *Cricolithus pemmatoideus* Deflandre in Manivit, p.192; est. 2, figs. 8a-b.1971 *Manivitella pemmatoidea* (Deflandre) Thierstein, p. 480; est. 5, figs. 1-3.1985 *Manivitella pemmatoidea* (Deflandre) – Perch-Nielsen, p. 372; figs. 40.14,15 e 35.1998 *Manivitella pemmatoidea* (Deflandre) – Burnett, p. 181, fig. 16.Gênero *Watznaueria* Reinhardt, 1964*Watznaueria barnesae* (Black in Black & Barnes, 1959)

(Estampa 2, Fig. 8)

1959 *Tremalithus barnesae* Black in Black & Barnes, p. 325; est. 9, figs. 1-2.1968 *Watznaueria barnesae* (Black) Perch-Nielsen, p. 69; est. 22, figs. 1-7.1985 *Watznaueria barnesae* (Black) – Perch-Nielsen, p. 372; figs. 40.23-24.1998 *Watznaueria barnesae* (Black) – Burnett, p. 181, fig. 28.

*Watznaueria biporta* Bukry, 1969

(Estampa 2, Fig. 9)

1969 *Watznaueria biporta* Bukry, p. 32; est. 12, fig. 9.

1984 *Watznaueria biporta* Bukry – Stradner & Steinmetz, p. 644, est. 47, fig. 1.

1985 *Watznaueria biporta* Bukry – Perch-Nielsen, p. 372; figs. 40.16-17.

1998 *Watznaueria biporta* Bukry – Burnett, p. 181, figs. 21, 22 e 26.

**Família Podorhabdaceae** Noël, 1965

sub-família Podorhabdoideae Noël, 1965

Gênero *Axopodorhabdus* Wind & Wise in Wise & Wind, 1977

*Axopodorhabdus albianus* (Black, 1967) Wind & Wise in Wise & Wind, 1977

(Estampa 2, Figs. 10a e 10b)

1967 *Podorhabdus albianus* Black, p. 134-144.

1977 *Axopodorhabdus albianus* (Black) Wind & Wise in Wise & Wind, 1977, p. 297.

1984 *Axopodorhabdus albianus* (Black) – Stradner & Steinmetz, p. 632; est. 35, figs. 5-7 e 9.

1985 *Axopodorhabdus albianus* (Black) – Perch-Nielsen, p. 380, figs. 49.8 e 18.

1998 *Axopodorhabdus albianus* (Black) – Burnett, p. 177, figs. 1-2.

**Família Retecapsoideae** Black, 1972

Gênero *Stradneria* Reinhardt, 1964

*Stradneria crenulata* (Bramlette & Martini, 1964)

(Estampa 3, Fig. 1)

1964 *Cretarhabdus crenulatus* Bramlette & Martini, p. 300; est. 2, figs. 21-24.

1970 *Stradneria crenulata* (Bramlette & Martini) Noël, p. 55-57; est. 13, fig. 5.

1985 *Stradneria crenulata* (Bramlette & Martini) – Perch-Nielsen, p. 385, figs. 8.88-89.

1998 *Retecapsa crenulata* (Bramlette & Martini) – Burnett, p. 181, fig. 7.

Gênero *Cretarhabdus* Bramlette & Martini, 1964

*Cretarhabdus conicus* Bramlette & Martini, 1964

(Estampa 3, Figs. 2a e 2b)

1964 *Cretarhabdus conicus* Bramlette & Martini, p. 299; est. 3, figs. 5-8.

1985 *Cretarhabdus conicus* Bramlette & Martini – Perch-Nielsen, p. 383; fig. 51.1.

1998 *Cretarhabdus conicus* Bramlette & Martini – Burnett, p. 181, figs. 1-2.

### Gênero *Microstaurus* Black, 1971

#### *Microstaurus chiastius* (Worsley, 1971)

(Estampa 3, Figs. 3a e 3b)

1971 *Helenea chiastia* Worsley, p. 1310; est. 1, figs. 42-44.

1975 *Microstaurus chiastius* (Worsley) Grün & Allemann, p. 181; est. 5, figs. 1-4.

1998 *Helenea chiastia* (Worsley) – Burnett, p. 181, figs. 13-14.

### Gênero *Grantarhabdus* Black, 1971

#### *Grantarhabdus coronadventis* (Reinhardt, 1966)

(Estampa 3, Figs. 5a e 5b)

1966 *Cretarhabdus coronadventis* Reinhardt, p. 462; est. 5, figs. 1-9.

1975 *Grantarhabdus coronadventis* (Reinhardt) Grün in Grün & Allemann, p. 184.

1985 *Grantarhabdus coronadventis* (Reinhardt) – Perch-Nielsen, p. 384, figs. 51.2-3.

### Família Cribrosphaerelloideae Tappan, 1980

#### Gênero *Cribrosphaerella* Deflandre in Piveteau, 1952

#### *Cribrosphaerella ehrenbergii* (Arkhangelsky, 1912)

(Estampa 3, Fig. 8)

1912 *Cribrosphaera ehrenbergii* Arkhangelsky *apud* Gartner, 1968, p. 412; est. 6, fig. 19.

1952 *Cribrosphaerella ehrenbergii* (Arkhangelsky) Deflandre in Piveteau, p. 111, fig. 54a *apud* Gartner, 1968.

1984 *Cribrosphaerella ehrenbergii* (Arkhangelsky) – Stradner & Steinmetz, p. 608; est. 11, figs. 1-10.

1985 *Cribrosphaerella ehrenbergii* (Arkhangelsky) – Perch-Nielsen, p. 387, figs. 53.8 e 53.16.

1998 *Cribrosphaerella ehrenbergii* (Arkhangelsky) – Burnett, p. 177, figs. 3-6.

### Família Prediscosphaeracea Rood *et al.*, 1973

#### Gênero *Prediscosphaera* Vekshina, 1959

#### *Prediscosphaera cretacea* (Arkhangelsky, 1912)

(Estampa 3, Fig. 4; Estampa 7, Figs. 1 e 2)

- 1912 *Coccolithophora cretacea* Arkhangelsky, p. 412; est. 6, figs. 12-13 *apud* Gartner, 1968.  
 1968 *Prediscosphaera cretacea* (Arkhangelsky) Gartner, p. 19; est. 2, figs. 10-14; est. 3, fig. 8.  
 1985 *Prediscosphaera cretacea* (Arkhangelsky) – Perch-Nielsen, p. 393, figs. 61.3-6 e 27.  
 1998 *Prediscosphaera cretacea* (Arkhangelsky) – Burnett, p. 179, figs. 22a-b.

*Prediscosphaera columnata* (Stover, 1966)

(Estampa 3, Fig. 6)

- 1966 *Deflandrius columnatus* Stover, p. 141; est. 6, figs. 6-10; est. 9, fig 16.  
 1984 *Prediscosphaera columnata* (Stover) Perch-Nielsen, p. 43.  
 1985 *Prediscosphaera columnata* (Stover) – Perch-Nielsen, p. 393, figs. 61.11-13.  
 1998 *Prediscosphaera cretacea* (Stover) – Burnett, p. 179, figs. 23a-b.

*Prediscosphaera spinosa* (Bramlette & Martini, 1964).

(Estampa 3, Fig. 7)

- 1964 *Deflandrius spinosus* Bramlette & Martini, p. 301; est. 2, figs. 17-20.  
 1968 *Prediscosphaera spinosa* (Bramlette & Martini) Gartner, p. 20; est. 2, figs. 15-16; est. 3, figs. 9 e 10.  
 1998 *Prediscosphaera spinosa* (Bramlette & Martini) – Burnett, p. 179, figs. 30a-b.

**Família Rhagodiscaceae Hay, 1977**

Gênero *Rhagodiscus* Reinhardt, 1967

*Rhagodiscus angustus* (Stradner, 1963)

(Estampa 3, Figs. 9a e 9b)

- 1963 *Rhabdolithus angustus* Stradner, p. 178; est. 5, fig. 6.  
 1971 *Rhagodiscus angustus* (Stradner) Reinhardt, p. 23; est. 2, figs. 1-2.  
 1998 *Rhagodiscus angustus* (Stradner) – Burnett, p. 173, figs. 12b-c.

*Rhagodiscus splendens* (Deflandre, 1953)

(Estampa 3, Figs. 10a, 10b, 11a e 11b)

- 1953 *Rhabdolithus splendens* Deflandre, p. 1786, fig. 4-6 *apud* Verbeek, 1977.  
 1977 *Rhagodiscus splendens* (Deflandre) Verbeek, p. 94; est. 6, fig. 9.  
 1985 *Rhagodiscus splendens* (Deflandre) – Perch-Nielsen, p. 394, figs. 62.8-9.  
 1998 *Rhagodiscus splendens* (Deflandre) – Burnett, p. 173, figs. 12a e 15.

*Rhagodiscus asper* (Stradner, 1963)

(Estampa 3, Figs. 12a e 12b)

- 1963 *Discolithus asper* Stradner, p.177; est. 2, figs. 4-5.  
 1967 *Rhagodiscus asper* (Stradner) Reinhardt, p. 166 *apud* Reinhardt, 1971.  
 1985 *Rhagodiscus asper* (Stradner) – Perch-Nielsen, p. 394, fig. 62.6.  
 1998 *Rhagodiscus asper* (Stradner) – Burnett, p. 173, fig. 11.

*Rhagodiscus achlyostaurion* (Hill, 1976)

(Estampa 3, Figs. 13a e 13b)

- 1976 *Parhabdolithus achlyostaurion* Hill, p. 145; est. 9, figs. 24-29.  
 1983 *Rhagodiscus achlyostaurion* (Hill) Doeven, p. 50.  
 1985 *Rhagodiscus achlyostaurion* (Hill) - Perch-Nielsen, p. 394, fig. 62.6.  
 1998 *Rhagodiscus achlyostaurion* (Hill) – Burnett, p. 173, fig. 10.

**Família Stephanolithiaceae Black, 1968**Gênero *Stoverius* Perch-Nielsen, 1984*Stoverius achylosus* (Stover, 1966)

(Estampa 4, Fig. 1)

- 1966 *Chiphragmalithus achylosus* Stover, p. 137; est. 6, fig. 26; est. 7, figs. 1-3; est. 9, fig. 20.  
 1984 *Stoverius achylosus* (Stover) Perch-Nielsen, p. 839; est. 3, fig. 7.  
 1985 *Stoverius achylosus* (Stover) – Perch-Nielsen, p. 399, figs. 69.1 e 2.  
 1998 *Stoverius achylosus* (Stover) – Burnett, p. 173, fig. 22.

Gênero *Corollithion* Stradner, 1961*Corollithion signum* Stradner, 1963

(Estampa 4, Figs. 2a e 2b; Estampa 8, Fig. 2)

- 1963 *Corollithion signum* Stradner, p. 11, fig. 13.  
 1984 *Corollithion signum* Stradner – Stradner & Steinmetz, p. 604, figs. 6-7.  
 1985 *Corollithion signum* Stradner – Perch-Nielsen, p. 399, figs. 69.12-13.  
 1998 *Corollithion signum* Stradner – Burnett, p. 173, figs. 17a-b.



*Corollithion exiguum* Stradner, 1961

(Estampa 8, Fig. 1)

1961 *Corollithion exiguum* Stradner, p. 83, figs. 58-61.

1985 *Corollithion exiguum* Stradner – Perch-Nielsen, p. 399, figs. 69.5-6.

1998 *Corollithion exiguum* Stradner – Burnett, p. 173, figs. 17c-d.

Gênero *Cylindralithus* Bramlette & Martini, 1964

(Estampa 4, Fig. 3)

Obs.: Neste gênero foram agrupados formas circulares com paredes altas compostas de elementos verticais. Segundo Burnett (1998) a distinção entre *C. asymmetricus* e *C. biarcus* é muito difícil. A distinção destas espécies com *C. serratus*, espécie-tipo do gênero, torna-se muito difícil em amostras pouco preservadas. Assim, optou-se por não fazer uma discriminação específica.

**Família Zygodiscaceae** Hay & Mohler, 1967

Gênero *Loxolithus* Noël, 1965

*Loxolithus armilla* (Black in Black & Barnes, 1959)

(Estampa 4, Figs. 4a e 4b; Estampa 7, Fig. 3)

1959 *Cyclolithus armilla* Black in Black & Barnes, p.327; est. 12, fig. 2.

1965 *Loxolithus armilla* (Black) Noël, p.68, fig. 3.

1998 *Loxolithus armilla* (Black) – Burnett, p. 171, fig. 14.

Gênero *Tranolithus* Stover, 1966

*Tranolithus orionatus* Reinhardt, 1966

(Estampa 4, Figs. 5a e 5b)

1966 *Tranolithus orionatus* Reinhardt, p. 109; est. 23, fig. 22.

1998 *Tranolithus orionatus* Reinhardt – Burnett, p. 169, figs. 6a e 7b.

*Tranolithus gabalus* Stover, 1966

(Estampa 4, Figs. 6a e 6b)

1966 *Tranolithus gabalus* Stover, p. 146; est. 4, fig. 22; est. 9, fig.5.

1984 *Tranolithus gabalus* Stover – Stradner & Steinmetz, p. 646; est. 49, figs. 8-9.

1998 *Tranolithus gabalus* Stover – Burnett, p. 169, figs. 4b-c.

### Gênero *Glaukolithus* Reinhardt, 1964

#### *Glaukolithus compactus* (Bukry, 1969)

(Estampa 4, Figs. 7a e 7b; Estampa 7, Fig. 5)

1969 *Zygodiscus compactus* Bukry, est. 34, fig. 1-2.

1984 *Glaukolithus compactus* (Bukry) Perch-Nielsen, p. 43.

1985 *Glaukolithus compactus* (Bukry) – Perch-Nielsen, p. 407, fig. 82.1-2 e 3.

#### *Glaukolithus diplogrammus* (Deflandre in Deflandre & Fert, 1954)

(Estampa 4, Figs. 8a e 8b)

1954 *Zygodiscus diplogrammus* Deflandre in Deflandre & Fert, p. 148; est. 10, fig. 7.

1964 *Glaukolithus diplogrammus* (Deflandre) – Reinhardt, p. 758.

1985 *Glaukolithus diplogrammus* (Deflandre) – Perch-Nielsen, p. 407, figs. 82.4-5 e 7.

### Gênero *Zeugrhabdotus* Reinhardt, 1965

#### *Zeugrhabdotus embergeri* (Nöel, 1958)

(Estampa 4, Figs. 11a e 11b)

1958 *Discolithus embergeri* Nöel, p. 164-165; est. 1, figs. 5 e 6a-e, 7a-b e 8.

1984 *Zeugrhabdotus embergeri* (Nöel) Perch-Nielsen, p. 44.

1985 *Zeugrhabdotus embergeri* (Nöel) – Perch-Nielsen, p. 408, figs. 84.4-6 e 9.

#### *Zeugrhabdotus erectus* Deflandre in Deflandre & Fert, 1954)

(Estampa 4, Figs. 9a, 9b; Estampa 7, Fig. 6)

1954 *Zygodiscus erectus* Deflandre in Deflandre & Fert, est. 15, figs. 14-17.

1965 *Zeugrhabdotus erectus* (Deflandre) Reinhardt, est. 5, fig. 2.

1985 *Zeugrhabdotus erectus* (Deflandre) – Perch-Nielsen, p. 409, figs. 84.12 e 13.

1998 *Zeugrhabdotus erectus* (Deflandre) – Burnett, p. 169, fig. 30.

Obs.: Segundo Medd (1979, *apud* Perch-Nielsen, 1985), *Zeugrhabdotus noeliae* pode ser considerado como sinônimo júnior de *Z. erectus*. De fato, se observarmos as fotos ao microscópio eletrônico dos holótipos das duas espécies torna-se difícil distingui-las (Perch-Nielsen, 1985; p. 408, figs. 84.1 e 84.12-13). Contudo, as fotos ilustrativas destas espécies

apresentadas por Burnett (1998) ao microscópio ótico não são similares. *Zeugrhabdotus erectus* (p. 169, fig. 30) é similar ao holótipo, enquanto a ilustração de *Zeugrhabdotus noeliae* (p. 169, figs. 19a-b) assemelha-se aos exemplares classificados como *Reinhardtites*.

#### Gênero *Placozygus* Hoffman, 1970

##### *Placozygus fibuliformis* (Reinhardt, 1964)

(Estampa 4, Figs. 10a e 10b)

1964 *Glaukolithus* (?) *fibuliformis* Reinhardt, p. 758; est. 1, fig. 4.

1970 *Placozygus fibuliformis* (Reinhardt) Hoffman, p. 1004; est. 1, figs. 1a-1d.

1998 *Placozygus fibuliformis* (Reinhardt) - Burnett, p. 169, fig. 26a.

#### Gênero *Reinhardtites* Perch-Nielsen, 1968

(não ilustrado)

Obs.: Neste trabalho, os espécimes classificados como *Reinhardtites* são provavelmente pertencentes à espécie *R. anthophorus*. Contudo, o surgimento desta espécie no Turoniano é questionável (Burnett, 1998). Para Perch-Nielsen (1985) os exemplares mais antigos deste gênero podem ser facilmente confundidos com espécimes pertencentes aos gêneros *Zeugrhabdotus* e *Placozygus*; tal consideração é bastante pertinente com as observações feitas neste trabalho. Muitos dos exemplares considerados como do gênero *Reinhardtites* poderiam ser classificados como *Zeugrhabdotus*, ainda que as suas características não correspondam perfeitamente a este grupo. Desta forma, adotou-se a classificação deste grupo a nível genérico.

#### Heterococolitos com afinidade incerta

##### Gênero *Haquius* Roth, 1978

##### *Haquius circumradiatus* (Stover, 1966)

(Estampa 4, Fig. 12)

1966 *Coccolithites circumradiatus* Stover, p. 138; est. 5, figs. 2-4; est. 9, fig. 10.

1978 *Haquius circumradiatus* (Stover) Roth, p. 746.

1998 *Haquius circumradiatus* (Stover) - Burnett, p. 181, fig. 15.

### 7.3.2 Holocolitos

#### Família Calyptosphaeraceae Boudreaux & Hay, 1969

#### Gênero *Orastrum* Wind & Wise in Wise & Wind, 1977

#### *Orastrum partitum* Varol in Al-Rifaiy *et al.*, 1990

(Estampa 5, Fig. 1)

1990 *Orastrum partitum* Varol in Al-Rifaiy *et al.*, p. 193; est. 3, figs. 1-8.

1995 *Orastrum partitum* Varol – Costa & Cunha, p. 211; est. 1, figs. 8a-b e 9a-b.

#### Gênero *Owenia* Crux, 1981

#### *Owenia hilli* Crux, 1981

(Estampa 5, Figs. 2a e 2b)

1981 *Owenia hilli* Crux, p. 214; est. 1, figs. 3 e 6; est. 2, figs. 1-4 e 8.

1995 *Owenia hilli* Crux – Costa & Cunha, p. 213; est. 1, figs. 11a-b e 12.

#### Gênero *Lucianorhabdus* Deflandre, 1959

#### *Lucianorhabdus cayeuxii* Deflandre, 1959

(Estampa 5, Fig. 3)

1959 *Lucianorhabdus cayeuxii* Deflandre, p. 142-143; est. 4, figs. 11-25.

1985 *Lucianorhabdus cayeuxii* Deflandre – Perch-Nielsen, p. 359; figs. 8.21 e 28.14.

1998 *Lucianorhabdus cayeuxii* Deflandre – Burnett, p. 187, figs. 7, 11, 12 e 16.

#### *Lucianorhabdus maleformis* Reinhardt, 1966

(Estampa 5, Fig. 4)

1966 *Lucianorhabdus maleformis* Reinhardt, p. 105; est. 21, fig. 7.

1985 *Lucianorhabdus maleformis* Reinhardt – Perch-Nielsen, p. 363, fig. 28.11.

1998 *Lucianorhabdus maleformis* Reinhardt – Burnett, p. 187, figs. 17a-b.

### 7.3.3 Nanolitos

#### Família Braarudosphaeraceae Deflandre, 1947

Gênero *Braarudosphaera* Deflandre, 1947

*Braarudosphaera africana* Stradner, 1961

(Estampa 5, Fig. 5)

1961 *Braarudosphaera africana* Stradner, p. 82, fig. 44.

1984 *Braarudosphaera africana* Stradner – Stradner & Steinmetz, p. 647; est. 50, fig. 4.

1998 *Braarudosphaera africana* Stradner – Burnett, p. 189; fig. 26c.

*Braarudosphaera bigelowii* (Gran and Braarud, 1935)

(Estampa 5, Fig. 6)

1935 *Pontosphaera bigelowii* Gran & Braarud, p. 388, fig. 67 *apud* Aubry, 1989.

1947 *Braarudosphaera bigelowii* (Gran & Braarud) Deflandre, p. 439, figs. 3-11 *apud* Aubry, 1989.

1985 *Braarudosphaera bigelowii* (Gran & Braarud) – Perch-Nielsen, p. 360, figs. 22.1 e 2.

Família *Microrhabdulaceae* Deflandre, 1959

Gênero *Microrhabdulus* Deflandre, 1959

*Microrhabdulus decoratus* Deflandre, 1959

(Estampa 5, Figs. 9a e 9b)

1959 *Microrhabdulus decoratus* Deflandre, p. 140-141; est. 4, figs. 1-5.

1985 *Microrhabdulus decoratus* Deflandre – Perch-Nielsen, p. 374, figs. 43.17-19.

1998 *Microrhabdulus decoratus* Deflandre – Burnett, p. 193, figs. 32-34.

Gênero *Lithraphidites* Deflandre, 1963

*Lithraphidites carniolensis* Deflandre, 1963

(Estampa 5, Fig. 10; Estampa 8, Fig. 6)

1963 *Lithraphidites carniolensis* Deflandre, p. 3486; figs. 1-10.

1985 *Lithraphidites carniolensis* Deflandre – Perch-Nielsen, p. 373, figs. 42.3-4.

1998 *Lithraphidites carniolensis* Deflandre – Burnett, p. 193, figs. 16-18.

Família *Nannoconaceae* Deflandre, 1959

Gênero *Nannoconus* Deflandre, 1959

*Nannoconus truitti* Brönnimann, 1955

(Estampa 5, Figs. 7 e 8)

1955 *Nannoconus truitti* Brönnimann, p.38; est. 2, figs. 2-5 e 7.

1984 *Nannoconus truitti* Brönnimann – Stradner & Steinmetz, p. 648; est.51, figs. 4-6.

1998 *Nannoconus truitti* Brönnimann – Burnett, p. 193, figs. 41 e 43.

**Família Polycyclolithaceae** (Forchheimer, 1972) emend. Varol, 1992

Gênero *Eprolithus* Stover, 1966.

*Eprolithus eptapetalus* Varol, 1992

(Estampa 5, Figs. 11, 12 e 13; Estampa 6, Fig. 8b; Estampa 9, Figs. 1 a 5)

1992 *Eprolithus eptapetalus* Varol, p.104; est. 1, figs. 2 e 4; est. 6, figs. 8 e 13.

Obs.: Considerando a importância dos *Eprolithus* e *Lithastrinus* na bioestratigrafia das seções estudadas, convém salientar que a nomenclatura adotada para as espécies destes gêneros por Burnett (1998) difere da proposta por Varol (1992). Apesar do zoneamento proposto por Burnett (1998) ser utilizado neste trabalho, a nomenclatura taxonômica adotada está de acordo com Varol (1992).

Conforme conceituação de Varol (1992), os *Eprolithus* são caracterizados por paredes constituídas por dois ciclos de cinco a nove elementos. Este gênero distingui-se do gênero *Lithastrinus* pelo número de elementos, que nos *Lithastrinus* varia de cinco a sete, e pela dimensão maior do diafragma. Um terceiro critério estabelecido pelo autor é a forma dos elementos: *Eprolithus* possuem elementos na forma de pétulas, e os *Lithastrinus* em raios. Este critério, entretanto, é problemático na medida que, freqüentemente, os exemplares de *E. eptapetalus* exibem elementos em forma de raios (Estampa 5). A modificação na forma dos elementos pode estar associada à dissolução; porém, não existem evidências nítidas que esta seja a causa. Em face a estes problemas, neste trabalho, considerou-se pertencentes a esta espécie todos os exemplares com sete elementos (pétalas ou raios) com diafragma desenvolvido.



*Eprolithus floralis* (Stradner, 1962)

(Estampa 5, Fig. 14; Estampa 9, Fig. 6)

1962 *Lithastrinus floralis* Stradner, p. 370; est.2, figs. 7-11.1966 *Eprolithus floralis* (Stradner ) Stover, p. 149; est.7, figs. 4-9.1992 *Eprolithus floralis* (Stradner) – Varol, p. 103; est. 1, fig. 11-12; est. 6, fig.16.1998 *Eprolithus floralis* (Stradner) – Burnett, p. 195, figs. 3a-b.*Eprolithus apertior* Black, 1973.

(Estampa 5, Fig. 15)

1973 *Eprolithus apertiors* Black, p. 100; est. 33, figs. 7, 9 e 10.1984 *Eprolithus apertior* Black – Stradner & Steinmetz, p. 648; est. 51, figs. 1-2.1998 *Eprolithus apertiors* Black – Burnett, p. 195, figs.1 e 2.*Eprolithus octapetalus* Varol, 1992

(Estampa 5, Fig. 16)

1992 *Eprolithus eptapetalus* Varol, p.104; est. 1, figs. 5 e 10; est. 6, figs. 14 e 15.Gênero *Lithastrinus* Stradner, 1962*Lithastrinus moratus* Stover, 1966.

(Estampa 5, Fig. 17)

1966 *Lithastrinus moratus* Stover, p. 149; est. 7, figs. 20a-b.1992 *Lithastrinus moratus* Stover – Varol, p. 106; est. 1, figs. 17-18; est. 6, fig. 6.Obs.: ver as considerações feitas em *E. eptapetalus*.Gênero *Rhadiolithus* Stover, 1966.*Radiolithus planus* Stover, 1966.

(Estampa 5, Fig. 18)

1966 *Radiolithus planus* Stover, p. 160; est.7, figs. 22a-c; est. 9, fig. 23.1992 *Radiolithus planus* Stover – Varol, p. 112; est. 3, figs. 5-7; est. 5, figs. 5-6.1998 *Radiolithus planus* Stover – Burnett, p. 195, fig. 11.

*Radiolithus undosus* (Black, 1973) Varol, 1992

(Estampa 5, Fig. 19)

1973 *Rhombogyrus undosus* Black, p. 104-105; est. 32, figs. 4 e 10

1992 *Radiolithus undosus* (Black) – Varol, p. 113; est. 3, figs. 4 e 8

Gênero *Micula* Vekshina, 1959.

*Micula adumbratus* Burnett, 1997.

(Estampa 6, Fig. 1)

1997 *Micula adumbratus* Burnett, p. 145, figs. 23a-d.

1998 *Micula adumbratus* Burnett, p. 195, figs. 24a-c.

Obs.: Esta espécie foi definida por Burnett (1997) e representa, segundo a autora, uma forma precursora da *M. staurophora* (= *M. decussata*).

*Micula decussata* Vekshina, 1959.

(Estampa 6, Fig. 2; Estampa 8, Figs. 3 e 4)

1959 *Micula decussata* Vekshina, p. 71; est. 1, fig. 6; est. 2, fig. 11.

1982 *Micula decussata* (Vekshina) – Crux, p. 127, figs. 12-13.

Obs. Conforme Crux (1982) os gêneros *Micula* e *Quadrum* fazem parte de uma mesma linhagem; o autor ilustra formas consideradas como intermediárias aos dois gêneros. Como esta separação teria ocorrido no Turoniano-Coniaciano, encontram-se neste intervalo exemplares de nanolitos de forma cúbica de difícil classificação taxonômica, sendo estes classificados a nível genérico. Os espécimes considerados, neste trabalho, como pertencentes às espécies *Q. gartneri* e *M. decussata* restringem-se somente àqueles indivíduos que apresentam características nítidas destas espécies. De acordo com Varol (1992), as espécies designadas de *Quadrum gartneri* possuem dois ciclos de elementos cúbicos, com suturas paralelas ao nanolito e ausência de diafragma (Estampa 8, Fig. 4); *Micula decussata* é compacta, possui suturas diagonais às bordas do nanolito e presença de diafragma (Estampa 8, Fig. 8).

Gênero *Quadrum* Prins & Perch-Nielsen in Manivit et al, 1977.

Obs.: Além das espécies *Q. gartneri* e *Q. intermedium* foram ainda reconhecidas outras formas de *Quadrum* de difícil classificação taxonômica, identificadas apenas a nível genérico (Estampa 6, Figs. 6 e 7; Estampa 8, Fig. 7).

*Quadrum gartneri* Prins & Perch-Nielsen in Manivit et al, 1977

(Estampa 6, Fig. 3; Estampa 8, Fig. 8)

1977 *Quadrum gartneri* Prins & Perch-Nielsen in Manivit et al., p. 177; est. 1, figs. 9-10.

1982 *Quadrum gartneri* (Prins & Perch-Nielsen) – Crux, p. 127, fig. 10; p. 135, figs. 17-18.

1998 *Quadrum gartneri* (Prins & Perch-Nielsen) – Burnett, p. 195; figs. 12a-b

*Quadrum intermedium* Varol, 1992

(Estampa 6, Figs. 4, 5 e 8a)

1992 *Quadrum intermedium* Varol, p. 110; est. 7, fig. 3.

Gênero *Marthasterites* Deflandre, 1959.

*Marthasterites furcatus* (Deflandre in Deflandre & Fert, 1954)

(Estampa 6, Figs. 9 e 10; Estampa 8, Fig. 5)

1954 *Discoaster* ? *furcatus* Deflandre in Deflandre & Fert, p. 168; est. 13, fig 14.

1959 *Marthasterites furcatus* (Deflandre) Deflandre, p. 139; est. 2, fig. 3-12; est. 3, figs. 1 e 5.

1984 *Marthasterites furcatus* (Deflandre) – Stradner & Steinmentz, p.622, est.25, figs.1-5; p.623, est.26, figs.1-4.

OBS.: Burnett (1997) propôs elevar as variedades *M. furcatus* var. *crassus*, *M. furcatus* var. *bramlettei* e *M. furcatus* var. *simplex* à categoria de espécies. Esta proposta não foi adotada neste trabalho, e estas variedades foram considerados como pertencentes à espécie *M. furcatus*. A espécie *Liliasterites angularis* Stradner & Steinmetz foi considerada também como pertencente a este grupo.

Família Lapideacassaceae Bown & Young, 1997

Gênero *Lapideacassis* Black, 1971.

*Lapideacassis mariae* Black, 1971

(Estampa 6, Fig. 11)

1971 *Lapideacassis mariae* Black, p. 326; est. 1, figs. a, b e d.

1983 *Lapideacassis mariae* Black – Wise & Wind in Wise, p. 407, figs. 1 e 2; p. 411, figs. 1 e 2.

1998 *Lapideacassis mariae* Black – Burnett, p. 193, fig. 5.

## PARTE II - CICLICIDADE EM SUCESSÕES SEDIMENTARES PELÁGICAS-HEMIPELÁGICAS .

### 8. PLATÔ DE SÃO PAULO (POÇO DSDP-356)

O poço DSDP-356 foi perfurado na borda sudeste do Platô de São Paulo, em lâmina d'água de 3175 m, amostrando cerca de 741 m de coluna sedimentar (Fig. 8.1). O objetivo principal desta perfuração foi estudar a origem dos depósitos evaporíticos e as mudanças nos padrões de circulação no Oceano Atlântico Sul.

No total foram recuperados 44 testemunhos, os quais registraram a presença de depósitos cretáceos e terciários. Os depósitos mais antigos testemunhados são de idade albiana, sotopostos discordantemente sob os estratos do Turoniano.

Nos testemunhos #40 e #41, de idade coniaciana-turoniana, observa-se uma sucessão de camadas de lamitos de coloração cinza claro a cinza escuro com teores variáveis de  $\text{CaCO}_3$ . Esta sucessão sedimentar, na sua porção mais superior, mostra um padrão irregular devido à ocorrência de camadas conglomeráticas de pouca espessura. Na parte mais basal, de idade turoniana, observa-se um padrão bastante regular na alternância dos estratos escuros e claros, sugerindo que a deposição ocorreu segundo um padrão periódico.

No testemunhos #40 (seções 2, 3, 4, 5 e 6) e #41 (seções 1, 2, 3 e 4) foram realizadas análises quantitativas do conteúdo nanofossilífero e geoquímicas (COT e  $\text{CaCO}_3$ ). O teor de carbonato no testemunho #40 (seções 2, 3 e 4) foi estimado somente a partir do resíduo insolúvel, enquanto que nas outras amostras utilizou-se como método analítico a calcimetria (Anexos 2 e 3). As análises espectrais foram realizadas utilizando os dados do índice colorimétrico.

#### 8.1 APRESENTAÇÃO DOS DADOS

A sucessão estudada é limitada na base por uma discordância erosiva que coloca os calcilutitos albianos, de coloração cinza claro, em contato com os depósitos lamíticos, de coloração escura, do Turoniano (Foto 8.1; Fig. 8.2).

No intervalo Turoniano do testemunho #41 observa-se uma sucessão cíclica de estratos, pouco espessos, de lamitos calcíferos dolomíticos de cor cinza esverdeado claro (5G 6/1), em meio a uma seção dominada por lamitos cinza azulados (5B 5/1) que gradam para camadas de folhelhos negros (N3) com COT elevado e nódulos de pirita. Os contatos entre as camadas são gradacionais (Fig. 8.2). De um modo geral, o teor de  $\text{CaCO}_3$  é baixo, sofrendo elevações nos lamitos calcíferos, concomitante com a queda nos valores de COT. Com exceção das camadas mais calcíferas, o resto da seção é estéril, ou extremamente pobre em nanofósseis. Nos lamitos calcíferos, o conteúdo de nanofósseis é pobre e a diversidade baixa, com predomínio quase absoluto da espécie *W. barnesae*. O número de espécimes por campo, o índice de Shannon-Weaver e o COT apresentam um comportamento bastante coerente com o teor de  $\text{CaCO}_3$  e com a coloração das rochas, sendo o índice colorimétrico representativo destas variações (Fig. 8.2).

Segundo a descrição do DSDP o intervalo amostrado pelo testemunho #40 (seções 5 e 6) apresenta, também, uma sucessão de lamitos calcíferos de cor cinza (N5) e lamitos sílticos, de cor cinza escura (N3), com teores variáveis de quartzo e feldspatos (5-10%). Contudo, esta sucessão, comparativamente à observada no testemunho #41, é bem mais irregular no que diz respeito às espessuras e à coloração das camadas (Foto 8.2). Esta irregularidade encontra-se bem representada no índice colorimétrico (Fig. 8.3). Os teores de  $\text{CaCO}_3$ , COT e o índice de Shannon-Weaver são bastante variáveis, entretanto, apresentando uma boa correlação com a cor dos estratos, principalmente na seção 6 (Foto 8.2; Fig. 8.3). A partir da seção 5, os valores de COT tornam-se baixos, com exceção do intervalo entre 60-100 cm da seção 4, onde se observa um brusca elevação dos valores de COT. As oscilações do teor de carbonato apresentam uma covariação positiva com a abundância relativa de *W. barnesae*, o índice de Shannon-Weaver e o número de espécimes por campo (Fig. 8.3).

Na parte superior do testemunho #40 (seções 2, 3 e 4), a sucessão de estratos cinzas e escuro é mais irregular que a observada nas seções 5 e 6 do mesmo testemunho (Fig. 8.3). As espessuras e as cores das camadas são muito variáveis, sugerindo que esta sucessão foi descrita de forma simplificada nos relatórios do DSDP. Estas seções caracterizam-se por lamitos com teores variáveis de  $\text{CaCO}_3$ , quartzo e feldspato. Na parte intermediária da seção 3 foram registrados microconglomerados com grânulos vulcânicos e carbonáticos (Fig. 8.3).



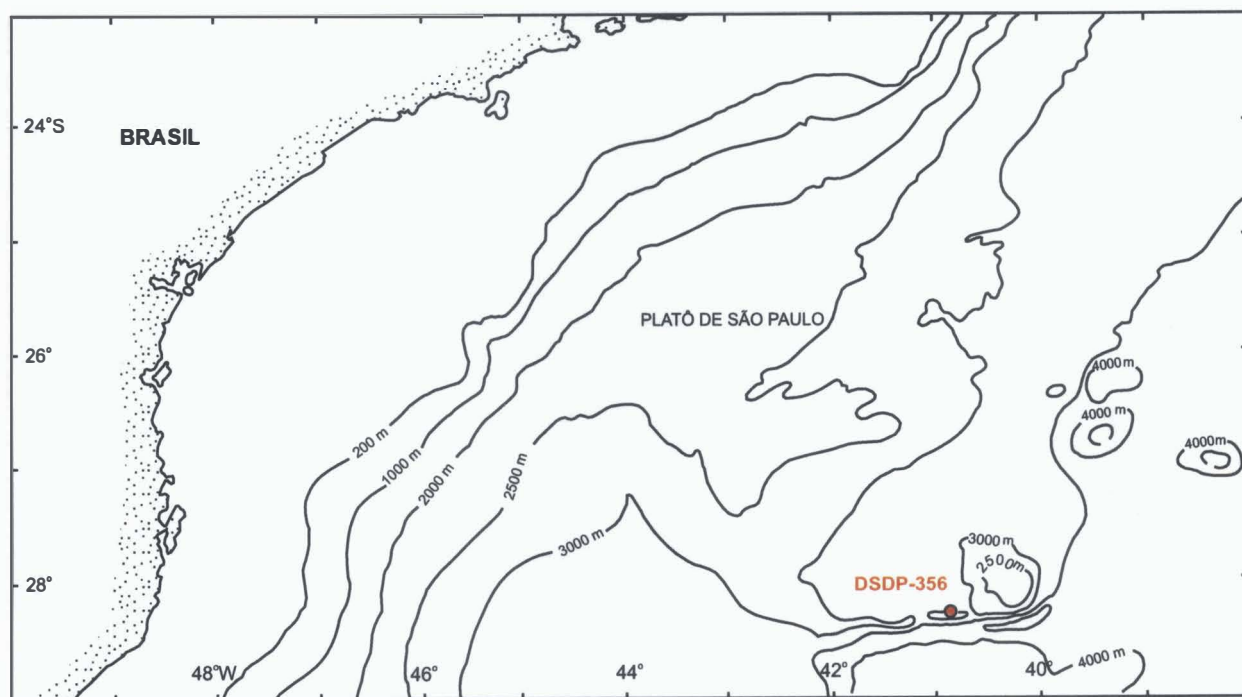


Figura 8.1 - Mapa de localização do poço DSDP-356 (Modificado de Perch-Nielsen, 1977).

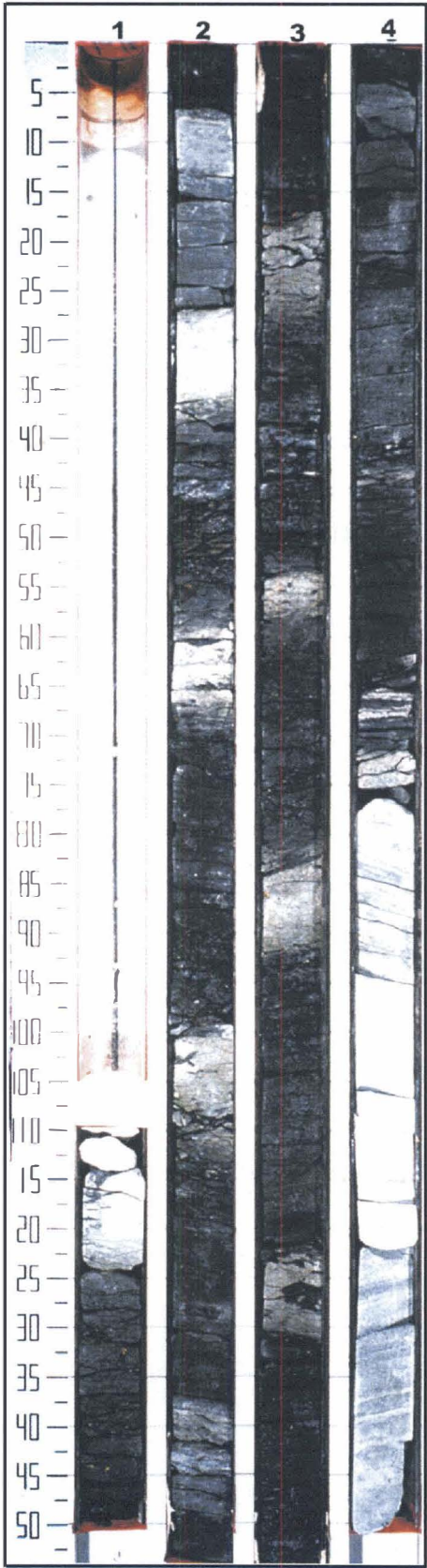


Foto 8.1 - Testemunho #41 do poço DSDP-356.

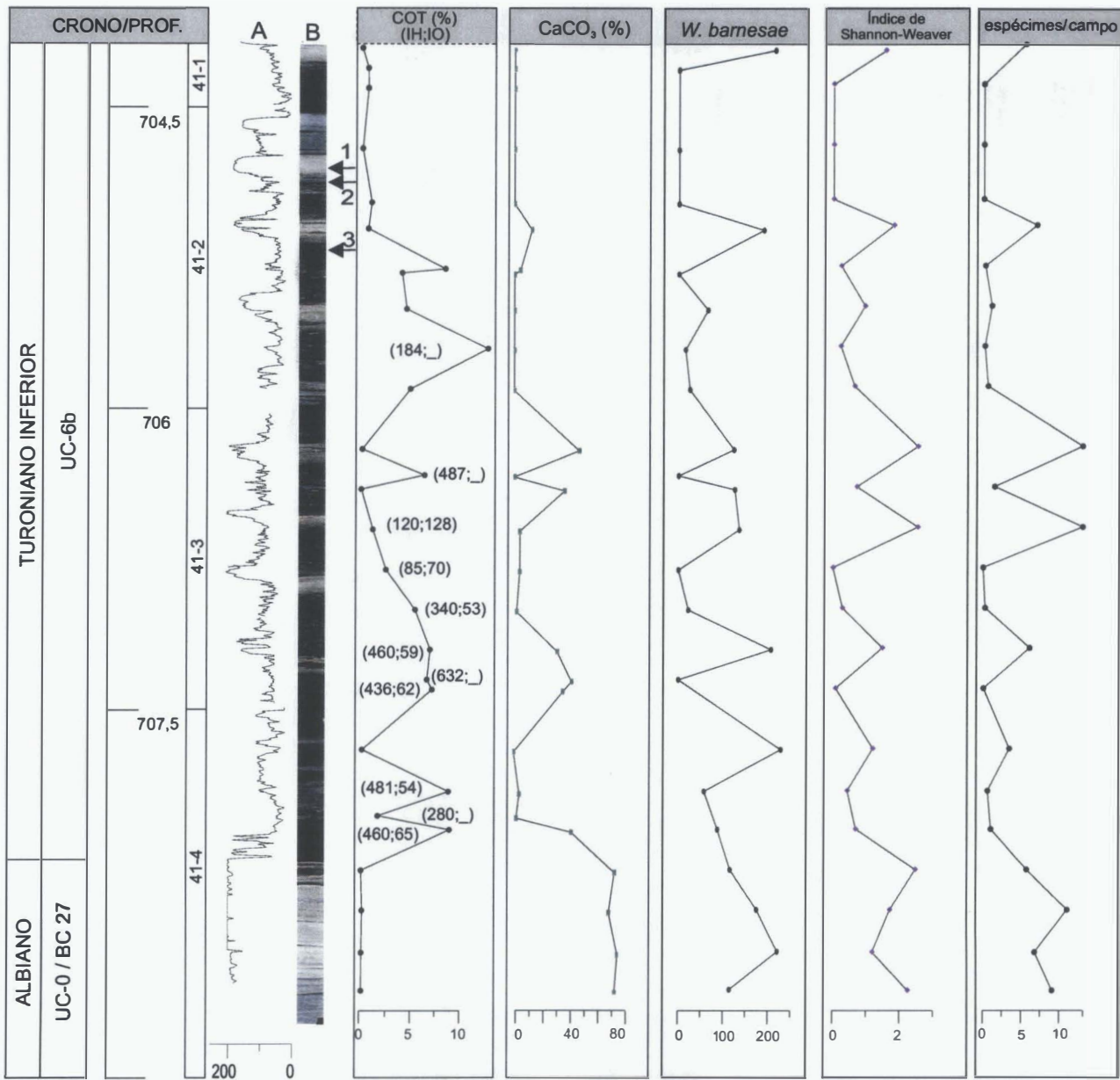


Figura 8.2 - Perfil do índice colorimétrico (A), foto (B) e resultados das análises geoquímicas e quantitativas de nanofósseis do testemunho #41 do poço DSDP-356. Número de *W. bamesae* relativo à contagem total de 300 espécimes ou 100 campos de visão.

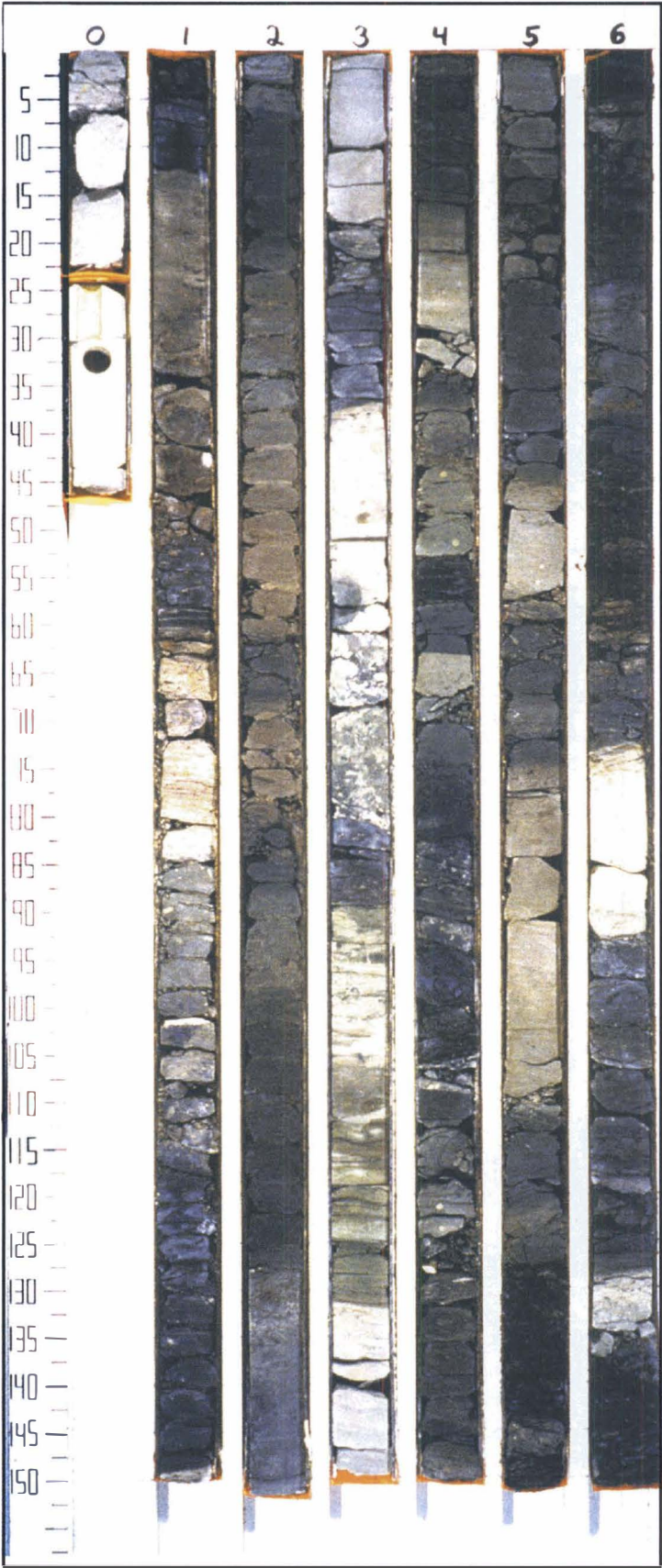
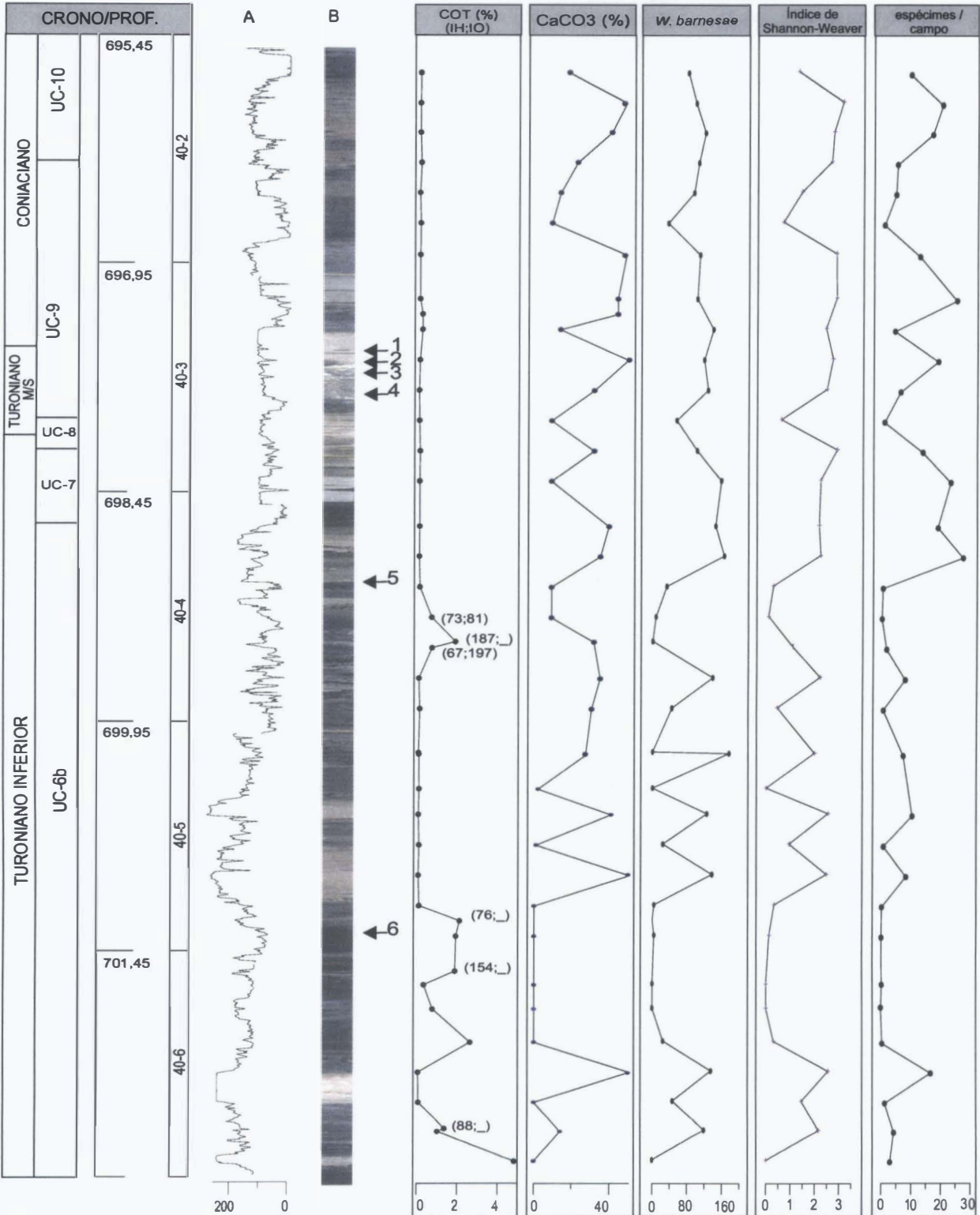


Foto 8.2 - Testemunho #40 do poço DSDP-356.





**DESCRIÇÃO:** Seção 2 - Lamitos calcíferos de cor cinza (N5) com 40% de argila e 30-35% de CaCO<sub>3</sub>, alternados com lamitos sílticos de cor cinza escuro (N3) com 80-90% de argila e 10-20% de silte. Seção 3 - Lamitos calcíferos (N5 e N7), alternados com lamitos sílticos (N3). No intervalo entre 50-70 cm ocorrem conglomerados compostos de clastos vulcânicos e carbonáticos (limestones - volcanic pebbles) de cores diversas: vermelho escuro (10R 2/2), verde escuro (5/3 G) e branco (N9). Seções 4, 5 e 6 - Lamitos calcíferos de cor cinza (N5 - 5Y 6/1) alternados com lamitos sílticos de cor cinza escuro (N3).

1) 80-90% argila, 5-10% quartzo, 1% feldspato, 1% opacos e 1-5% glauconita.  
2) 100% carbonato autigênico  
3) 40% argila, 10% quartzo, 5% feldspato, 10% nanofósseis, 5% foraminíferos, 5% opacos, 5% dolomita e 20% carbonato autigênico.  
4) 30% quartzo, 20% feldspato, 15 % limonita e 35% carbonato autigênico.  
5) 60-70% argila, 10-30% quartzo, 1-2% opacos; 1% feldspato; 1% minerais pesados.  
6) 80-90% argila, 5-10% quartzo e 1-2% Fe-óxido.

Figura 8.3 - Perfil do índice colorimétrico (A), foto (B) e resultados das análises geoquímicas e quantitativas de nanofósseis do testemunho #40 do poço DSDP-356. Número de *W. barnesae* relativo à contagem total de 300 espécimes ou 100 campos de visão.

## 8.2 BIOESTRATIGRAFIA

A bioestratigrafia fundamentada em nanofósseis, proposta por Perch-Nielsen (1977), para o poço DSDP-356, apresenta algumas diferenças com relação aos resultados bioestratigráficos obtidos neste trabalho (Fig. 8.4; Anexo 3). A utilização de várias espécies da família Polycyclolitaceae, na subdivisão da seção estudada, talvez seja a principal diferença. O reconhecimento das espécies *Lithastrinus moratus*, *Quadrum gartneri*, *Eprolithus eptapetalus* e *Radiolithus planus*, conforme trabalhos mais recentes (Varol, 1992; Oliveira, 1997; Burnett, 1998), permite uma subdivisão biocronoestratigráfica mais detalhada do Turoniano. Com relação aos biorizontes definidos pela primeira ocorrência de *Marthasterites furcatus* e *Eiffelithus eximius*, espécies amplamente utilizadas nos zoneamentos do Cretáceo (Sissingh, 1977 e Perch-Nielsen, 1985), observa-se que os dados apresentados por Perch-Nielsen (1977) são praticamente coincidentes com aqueles obtidos neste trabalho. Entretanto, a primeira ocorrência da espécie *Micula decussata*, segundo Perch-Nielsen (1977) posiciona-se em 708,2 m (41-4-70), bem abaixo da profundidade assinalada neste trabalho, 696,25 m (40-2-80). É possível que esta diferença decorra de problemas taxonômicos. Provavelmente, Perch-Nielsen (1977) utilizou a espécie *M. decussata* com um sentido mais amplo, agrupando sob esta denominação várias espécies do gênero *Micula* e *Quadrum*. Segundo Burnett (1998), a primeira ocorrência de *M. decussata* é um biorizonte consistente e posicionado acima da primeira ocorrência de *E. eximius* e *M. furcatus*, logo acima do limite superior do Turoniano. Contudo, a autora alerta que outras espécies do gênero, bastante similares a *M. decussata* surgiram anteriormente, por exemplo, *Micula adumbrata*.

A interpretação biocronoestratigráfica difere da estabelecida por Perch-Nielsen (1977). Esta autora registrou a primeira ocorrência de *M. decussata* abaixo da primeira ocorrência de *M. furcatus*, utilizando estes dois eventos para definir a base e o topo da zona *M. decussata* de idade neoturoniana. No zoneamento aqui estabelecido, estes eventos ocorrem com ordem inversa, sendo o limite superior do Turoniano marcado abaixo da primeira ocorrência de *M. decussata* (Fig. 8.4). O reconhecimento de *Eprolithus eptapetalus* nas primeiras amostras, logo acima da discordância, confirmam a presença da Subzona UC-6b, do Turoniano inferior. A ausência de *L. moratus*, *E. eximius* e *Q. gartneri* em amostras relativamente mais ricas, situadas abaixo da profundidade de 698,85 m, sugere que esta zona é relativamente espessa em relação às zonas UC-7, UC-8 e UC-9. Os três biorizontes que



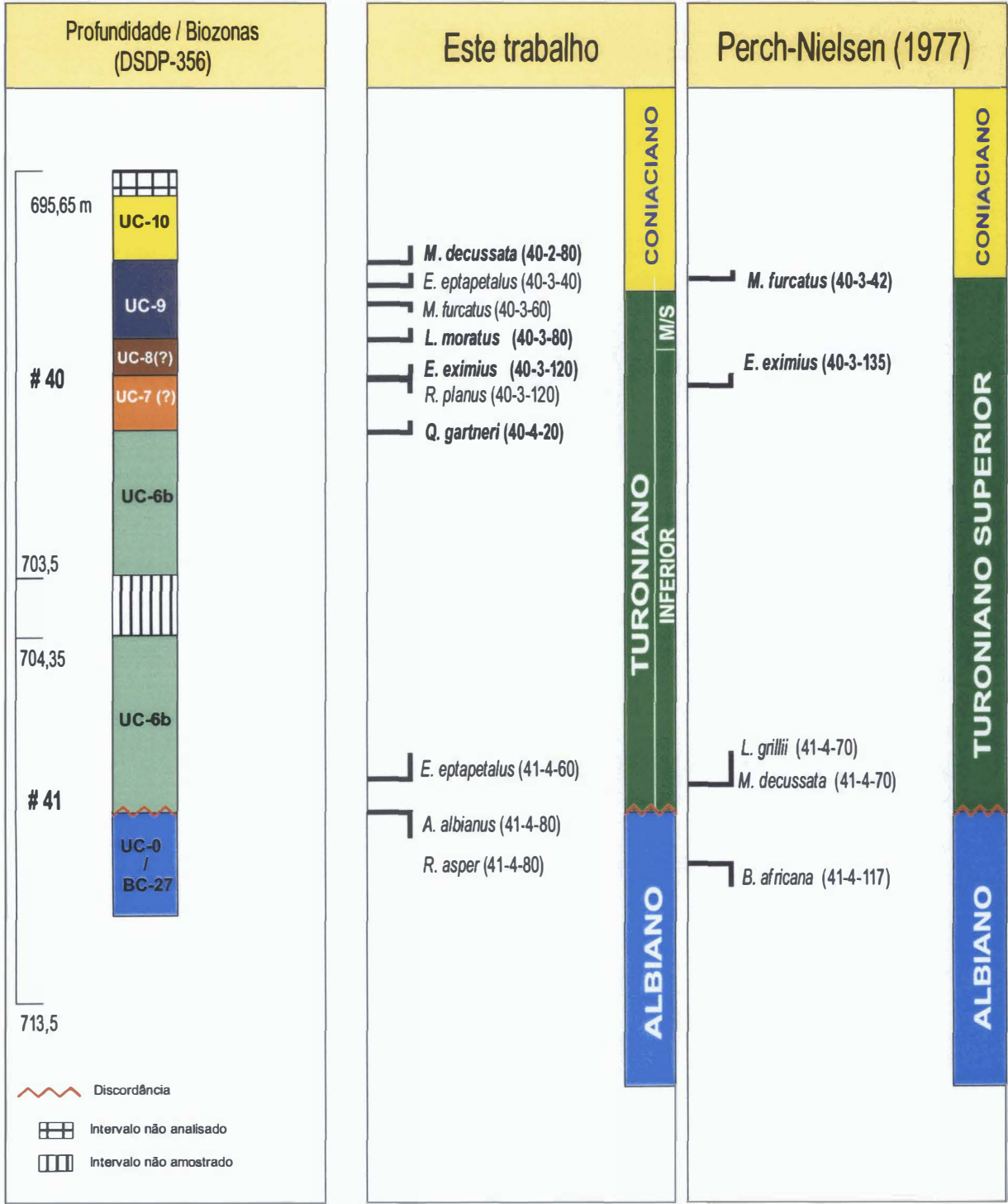


Figura 8.4 - Comparação do posicionamento estratigráfico das espécies-guias do Turoniano com o trabalho de Perch-Nielsen (1977). Observa-se que a principal diferença na interpretação cronoestratigráfica refere-se à subdivisão do Turoniano. Para Perch-Nielsen (1977) os testemunhos #40 e #41 do DSDP-356 são do Turoniano superior, segundo a interpretação adotada o intervalo analisado é do Turoniano inferior.

assinalam os limites destas biozonas (primeiras ocorrências de *L. moratus*, *E. eximius* e *Q. gartneri*) estão separados por poucos centímetros, sugerindo que esta seção foi depositada sob taxas de acumulação muito reduzidas. Outros eventos auxiliares, como a última ocorrência de *R. planus* e *E. eptapetalus*, estão posicionados neste intervalo pouco espesso (menos de 1 m), reforçando a hipótese da existência de uma zona de condensação.

8.3 CICLOESTRATIGRAFIA

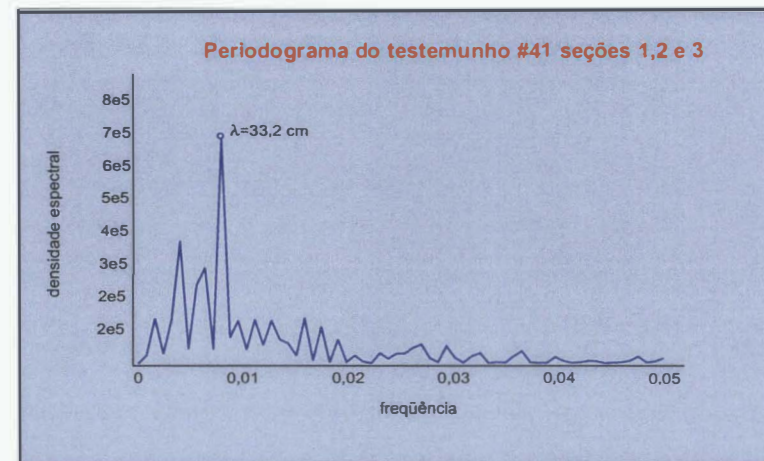
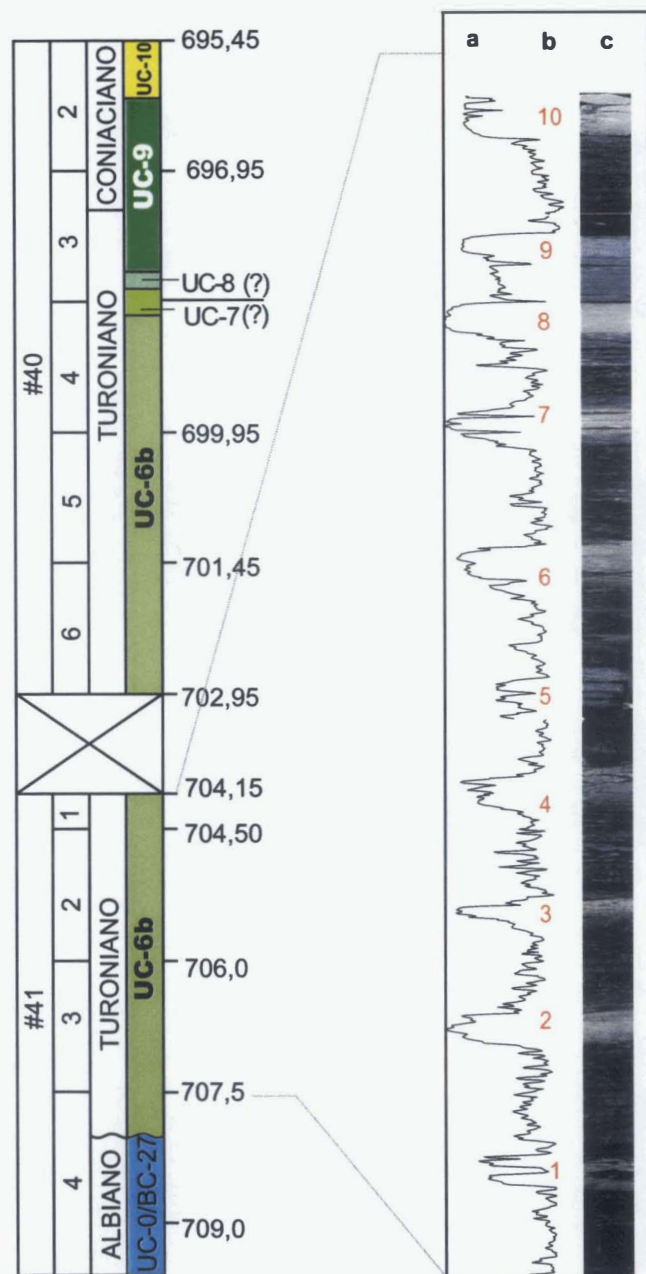
Com o objetivo de averiguar a regularidade dos ciclos observados nas seções 5 e 6 do testemunho #40, e no intervalo representativo do Turoniano do testemunho #41, realizou-se análises espectrais nos dados da curva do índice colorimétrico. Os resultados relativos à análise espectral das seções 5 e 6 do testemunho #40 não apresentaram bons resultados, confirmando a irregularidade observada na descrição faciológica. Já o periodograma relativo às seções 1, 2 e 3 do testemunho #41 apresenta em destaque um ciclo de comprimento de onda de 33,2 cm (Fig. 8.5).

Assumindo que o ciclo de  $\lambda=33,2$  cm esteja associado a um dos cinco principais ciclos orbitais de Milankovitch obteríamos para o intervalo de 3,35 m, referente às seções 1, 2 e 3 do testemunho #41 as taxas de acumulação e respectivos intervalos de duração apresentados na tabela 8.1.

| Ciclo Orbital                 | Taxa de acumulação<br>(cm / ka) | Tempo de duração (Ma) do<br>intervalo de 3,35 m | Tempo de duração (Ma) do<br>intervalo de 9,45 m |
|-------------------------------|---------------------------------|---|---|
| Excentricidade longa (410 ka) | 0,08                            | 4,14  | 11,5  |
| Excentricidade curta (100 ka) | 0,33                            | 1,00  | 2,80  |
| Obliquidade (41 ka)           | 0,81                            | 0,41  | 1,16  |
| Precessão (23 ka / 19 ka)     | 1,45 – 1,74                     | 0,23 – 0,19                                     | 0,64 – 0,54                                     |

Tabela 8.1 – Estimativas dos valores das taxas de acumulação, tempo de deposição do intervalo de 3,35 m (#41, seções 1, 2 e 3) e do intervalo de 9,45 m correspondente à Subzona UC-6b, assumindo que o ciclo de  $\lambda=33,2$  cm relacione-se com um dos ciclos de Milankovitch.

O intervalo analisado corresponde somente a uma parte da Subzona UC-6b, que possui uma espessura total de 9,45 m neste poço. Assumindo-se que ao longo de todo este intervalo a taxa de acumulação permaneceu constante, pode-se inferir que os 9,45 m foram depositados em um intervalo de tempo inferior a 1,30 Ma, que é o tempo estimado para a



#### Análise de ciclicidade

Considerando o ciclo de  $\lambda = 33,2$  cm como de precessão (A) ou obliquidade (B)

Espessura do intervalo analisado = 335 cm (704,15-707,5 m)

Nº de ciclos = 10

|  | A           | B    |
|--|-------------|------|
| Duração estimada de cada ciclo (ka) =  | 23 - 19     | 41   |
| Duração estimada do intervalo (Ma) =   | 0,23 - 0,19 | 0,41 |
| Taxa de acumulação calculada (cm/ka) = | 1,45 - 1,76 | 0,81 |

Tempo de duração da Subzona UC-6b (Ma), utilizando-se as taxas de acumulação obtidas acima e considerando-se que a espessura da zona é 945 cm:

| A           | B    |
|-------------|------|
| 0,69 - 0,54 | 1,16 |

Figura 8.5 - Análise de ciclicidade do testemunho #41 (seções 1, 2 e 3) do poço DSDP-356. Observa-se que o ciclo mais destacado pode ser associado tanto ao ciclo de obliquidade como ao de precessão. Dependendo da interpretação adotada pode-se dizer que a Biozona UC-6 está preservada em 50%, 41% ou 90%, assumindo que a unidade completa representa 1,3 Ma. índice colorimétrico (a); ciclos reconhecidos (b); foto do testemunho (c).

duração da Biozona UC-6 completa. Seguindo-se esta hipótese, somente os valores que relacionam o ciclo 33,2 cm aos fenômenos de precessão e obliquidade são aceitáveis (Tab. 8.1). Os demais ciclos implicariam em um intervalo de tempo superior à própria amplitude desta unidade bioestratigráfica.

O reconhecimento e a contagem dos ciclos no perfil do índice colorimétrico fornece valores que reforçam a hipótese que estes estejam associados à precessão ou obliquidade. O intervalo na qual foi feita a análise espectral tem uma espessura de 335 cm, e nele estão registrados 10 ciclos. Supondo-se que a duração individual destes ciclos tenha sido de 23 ka, os 335 cm do intervalo correspondente ao Turoniano registrado no testemunho #41 teriam sido depositados em 230 ka, segundo uma taxa de acumulação de 1,45 cm/ka. Se extrapolarmos esta taxa para o intervalo representado pela Subzona UC-6b (945 cm), obteríamos uma amplitude temporal de 651 ka; portanto, cerca de 50% da Biozona UC-6 estaria representada. Cálculo similar pode ser feito considerando um ciclo 19 ka (Fig. 8.5).

Por outro lado, assumindo-se que este ciclo refere-se à obliquidade (41 ka) o intervalo de 945 cm representaria cerca de 1,16 Ma, com uma taxa de acumulação de 0,81 cm/ka. Isto implicaria que cerca de 90% do intervalo temporal da zona estaria registrado nesta seção (Fig. 8.5).

Assumindo que a Subzona UC-6b representa em tempo cerca de 50% da Zona UC-6, acredita-se que a taxa de acumulação de 1,45 cm/ka seja a mais correta, sugerindo que os ciclos registrados no testemunho #41 são de precessão.

A premissa de que a taxa de acumulação dos testemunhos #41 (seções 1,2 e 3) e #40 (seções 5 e 6) são similares, poderia ser questionada, na medida que existe uma certa diferença faciológica entre estes dois intervalos. Porém, acredita-se que tal diferença não justifica variações na taxa de acumulação e na estimativa temporal.

Os cálculos da taxa média de acumulação para o Cretáceo Superior apresentados no relatório do poço DSDP-356 oscilam entre 1-3 cm/ka (Perch-Nielsen *et al.*, 1977). Os valores mais baixos referem-se ao Albiano, e os mais elevados ao Coniaciano e Santoniano, devido à influência de fluxos gravitacionais. Não foram feitos cálculos específicos para o Turoniano (Perch-Nielsen *et al.*, 1977).

## 8.4 INTERPRETAÇÃO DOS DADOS E ORIGEM DOS CICLOS

Os parâmetros que melhor caracterizam os ciclos do testemunho #41 são a variação do conteúdo de carbonato e de MO, expressa pela sucessão de estratos de cores claras e escuras. O carbonato é constituído por nanofósseis, ou pelo produto da dissolução destes, com porcentagem relativamente alta de dolomita. Os estratos de cor escura são formados por matéria orgânica amorfa de origem marinha (Trindade *et al.*, 1996), com teores variáveis de argila, principalmente, montmorilonita e illita, com quartzo e feldspato na fração silte (Perch-Nielsen *et al.*, 1977).

Os nanofósseis foram um dos principais constituintes primários das rochas carbonáticas; contudo, a maior parte deles foi dissolvida, ou apresenta sinais de dissolução. Nas associações de nanofósseis ocorre o domínio absoluto da espécie *W. barnesae*, extremamente resistente à dissolução (Hill, 1975; Roth & Bowdle, 1981; Bralower, 1988). A diversidade e a abundância se elevam somente em alguns estratos claros, e mesmo estes intervalos não são isentos de dissolução e recristalização. Frequentemente, a quantidade de carbonato autógeno nestas rochas é superior à quantidade de nanofósseis e foraminíferos. Deste modo, os ciclos observados neste testemunho devem ter sido originados por flutuações na intensidade do processo de dissolução, associado diretamente com a redução batimétrica da CCD, ou com a decomposição da MO.

Segundo Perch-Nielsen *et al.* (1977), a paleobatimetria da área onde foi perfurado o DSDP-356 durante o neocretáceo não era superior a 1000 m, portanto muito acima da CCD. Logo, a dissolução dos carbonatos parece não estar relacionada com a profundidade da CCD.

A julgar pelos valores do COT, a intensidade do processo de dolomitização e a presença de abundantes nódulos de pirita, a diagênese da MO deve ter alternado períodos de oxidação e sulfato-redução, sendo a dissolução do carbonato simultânea a degradação da MO acumulada nos estratos adjacentes.

Em face desta hipótese, resta discutir de que maneira os ciclos climáticos-orbitais relacionam-se com os ciclos de oxi-redução e dissolução. A MO acumulada nos depósitos sapropélicos do DSDP-356 foi depositada durante períodos de clima úmido, onde o incremento do influxo de nutrientes ocasionou um aumento na produtividade primária induzindo um maior consumo de oxigênio e expandindo a zona de mínimo de oxigênio. Em contrapartida, durante as épocas de menor umidade depositaram-se os lamitos calcíferos de

cor clara. Estes períodos correspondem a breves intervalos cujas condições de oxigenação permitiram uma produção mais efetiva de carbonato pelágico. A taxa de acumulação destes depósitos, por ser mais elevada, permitiu a formação de camadas carbonáticas, inibindo o processo de dissolução induzido pela decomposição da MO das camadas adjacentes.



## 9. BACIA DE ANGOLA (POÇO DSDP 364)

O poço DSDP-364 localiza-se na plataforma continental Africana a nordeste da Bacia de Angola (Fig. 9.1). O objetivo deste poço, perfurado em uma lâmina d'água de 2445 m, foi estudar os depósitos evaporíticos e a evolução oceanográfica do Atlântico Sul. O poço penetrou 1086 m na seção sedimentar, testemunhou depósitos Cenozóicos e Mesozóicos, finalizando no Aptiano, poucos metros antes dos depósitos evaporíticos.

Nos testemunhos #22 e #23, de idade coniaciana-turoniana, foram recuperados cherts de nanofósseis com teores de argila variáveis, intercalados com lamitos ou argilitos. A cor destes estratos varia de castanho a cinza-esverdeado. O testemunho #23 apresenta camadas de rochas sapropélicas com pirita, barita e marcasita. O testemunho #25, de idade albo-cenomaniana, é litologicamente similar aos testemunhos #22 e #23, caracterizados pela alternância de camadas de cor clara e escura com contatos gradacionais.

Nos testemunhos #22 (seções 3 e 4), #23 e #25 (excluindo a seção 6) foram realizadas análises quantitativas do conteúdo nanofossilífero, COT,  $\text{CaCO}_3$  e isótopos de carbono e oxigênio (Anexo 4). As análises espectrais foram feitas nos dados referentes ao índice colorimétrico.

### 9.1 APRESENTAÇÃO DOS DADOS

O testemunho #25 caracteriza-se por uma sucessão de rochas cinza esverdeado (5G 6/1) com teor de carbonatos variando de 0 a 45%, intercalado com camadas pouco espessas, praticamente sem  $\text{CaCO}_3$ , de cor cinza esverdeado muito escura (5GY 4/1 e 5G 4/1). Ocorrem algumas camadas de folhelhos negros (5G 2/1 e N1), com COT elevado, variando de 1,45 a 15,7 %. O COT nas camadas claras oscila em torno de 0,1%. A descrição de cores deste trabalho apresenta uma grande similaridade com a descrição do DSDP. As curvas de  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{18}\text{O}$  apresentam poucas oscilações e parecem independentes dos dados de COT e  $\text{CaCO}_3$ . Os nanofósseis são escassos, sendo a associação dominada pela espécie *W. barnesae*, que na maior parte das amostras representa 80-90% da assembléia nanofossilífera. Os valores do índice de Shannon-Weaver e o número de espécimes por campo são baixos. As amostras com COT elevado são estéreis (Foto 9.1; Fig. 9.2).

O testemunho #23, segundo a descrição do DSDP, é caracterizado por uma sucessão de camadas de lamitos e sapropel (lamitos ricos em MO) de cor preta (N1) e vazas de nanofósseis argilosas (*marly nannofossils chalk*) de cor cinza esverdeada (5G 6/1). Nas descrições das amostras analisadas (1 cm<sup>3</sup>) observou-se uma variação de cor bem mais acentuada. Os folhelhos negros permanecem praticamente com a mesma cor, ou um pouco mais clara (Foto 9.2; Fig. 9.3). Porém, as rochas mais claras, que segundo a primeira descrição apresentavam invariavelmente a cor cinza esverdeado, atualmente caracterizam-se por cores que vão desde o cinza muito claro (N8) até o cinza claro esverdeado (5GY 8/1-5G 8/1). A alteração de cor para tons mais claros é usual e prevista, e tem sido reportada nos relatórios de DSDP. Entretanto, a ausência de uma correspondência de cores, não evidenciada nos testemunhos #22 e #25, sugere que houve uma certa simplificação na descrição original do testemunho #23.

Os valores de COT são muitos baixos nas rochas de cor clara (menos 0,1 %) e oscilam em torno de 1%, nas rochas mais escuras. A única exceção está em 648 m, onde o COT chega a 6,19 %. É possível sugerir uma certa tendência para uma covariação positiva entre os dados de  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{18}\text{O}$ , ainda que os resultados obtidos na análise fatorial não respaldem esta observação (capítulo 7; Tab. 7.5). O  $\delta^{18}\text{O}$  não apresenta variações acentuadas, oscilando em torno de 3 ‰. A abundância e a diversidade de nanofósseis parece estar relacionada com a variação do teor de carbonato (Fig. 9.3). Em dois intervalos ocorre um aumento de *Eprolithus eptapetalus*, acompanhado da elevação do  $\delta^{13}\text{C}$  e do COT, com redução do índice de Shannon-Weaver e do número de espécimes por campo (23-1-118 a 140; 23-3-121 a 140).

O testemunho # 22, seções 3 e 4, conforme descrição do relatório inicial do DSDP, caracteriza-se por uma sucessão de camadas argilosas de vazas de nanofósseis (*marly nannofossils chalk*), de cor castanho claro a cinza esverdeado (10YR 5/2 - 5G 6/1), intercaladas com lamitos e argilitos de cor castanho muito escuro (2.5Y 3/2). A descrição das amostras aponta tonalidades mais claras, porém com perfeita correspondência de cores com a primeira descrição (Anexo 4). O COT é baixo, sempre inferior a 0,12 %, porém relativamente mais elevado nas camadas escuras (Foto 9.3; Fig. 9.4). Existe uma nítida covariação negativa entre as curvas de  $\delta^{13}\text{C}$  e do teor de carbonato de cálcio, também evidenciada no testemunho #23 (capítulo 7; Tab. 7.5). Ou seja, quanto mais argilosa é a rocha mais positivos são os valores de  $\delta^{13}\text{C}$ . Os valores de  $\delta^{18}\text{O}$  sofrem pouca alteração, crescendo da base para o topo.

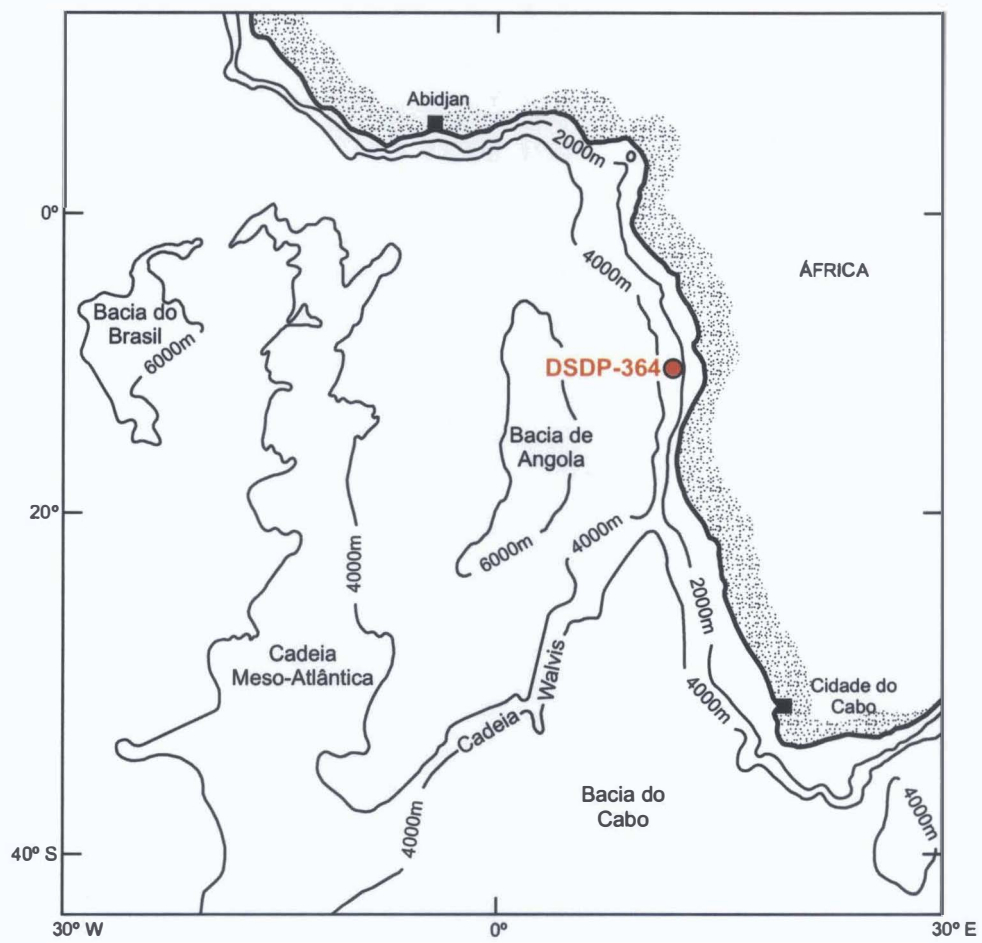


Figura 9.1 - Mapa de localização do poço do DSDP-364 (Modificado de Bolli *et al.*, 1978).

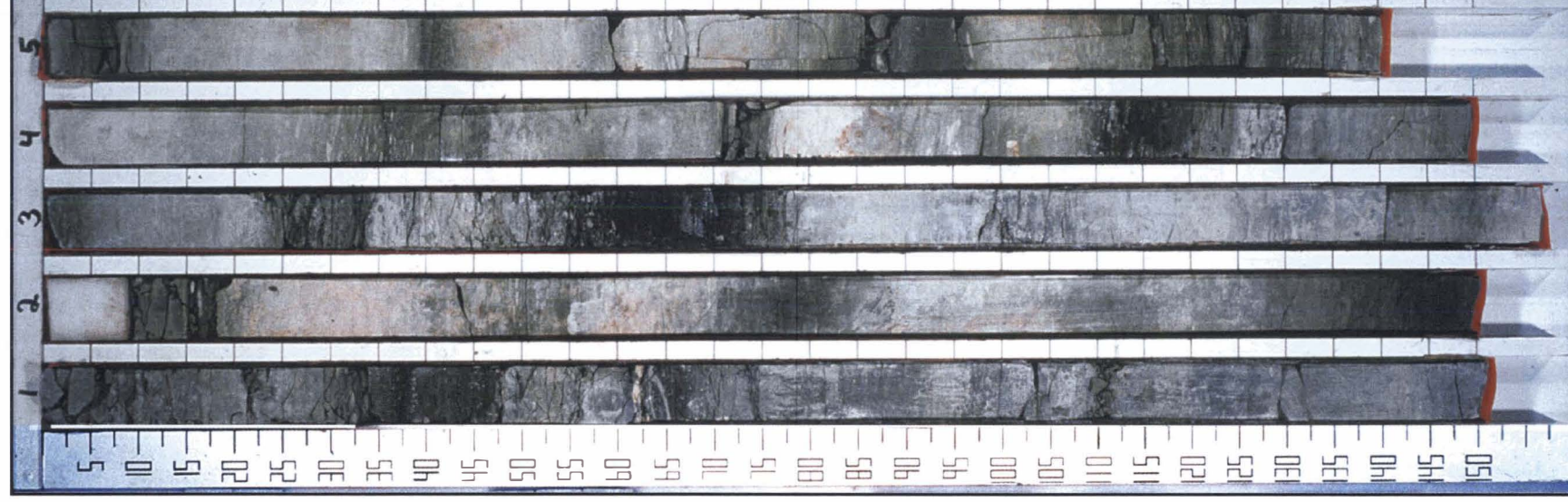
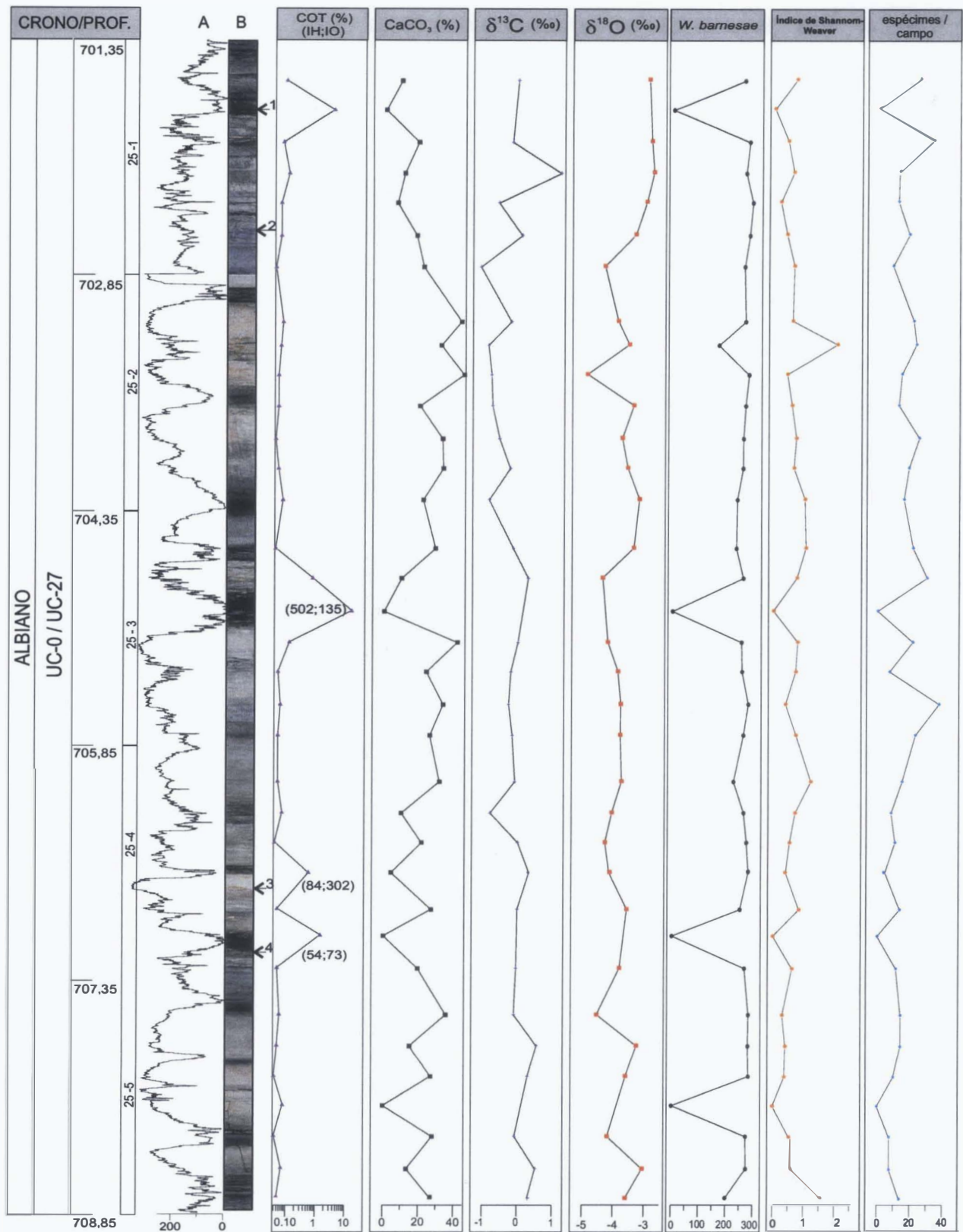


Foto 9.1 - Testemunho #25 do poço DSDP-364.



DESCRIÇÃO: Vasa margosa (*marly chalk*) laminada de cor cinza esverdeado (5G 8-6/1). A bioturbação torna a laminação descontínua em grande parte das camadas. Os lamitos (80-95% argila e 20-5% de silte) são laminados, suavemente bioturbados e de coloração cinza esverdeado escuro (5GY 4/1 e 5G 4/1). Ocorrem folhelhos negros (N1-5G 2/1) finamente laminados sem bioturbação.

1) 51% de argila; 49 % de CaCO<sub>3</sub> (3% de nanofósseis) e traços quartzo.

2) 15,9% CaCO<sub>3</sub> (bomba de carbonato).

3) C<sub>org</sub>; C<sub>carb</sub>: 0,2-30 %

4) %areia, %silte e %argila: 97; 3; 0 - seção delgada: 90 % argila; 8% detritos de plantas; 2% nanofósseis e traços quartzo.

Figura 9.2 - Perfil do índice colorimétrico (A), foto (B) e resultados das análises geoquímicas e quantitativas de nanofósseis do testemunho #25 do poço DSDP-364. Número de *W. bamesae* relativo a contagem total de 300 espécimes ou 100 campos de visão.



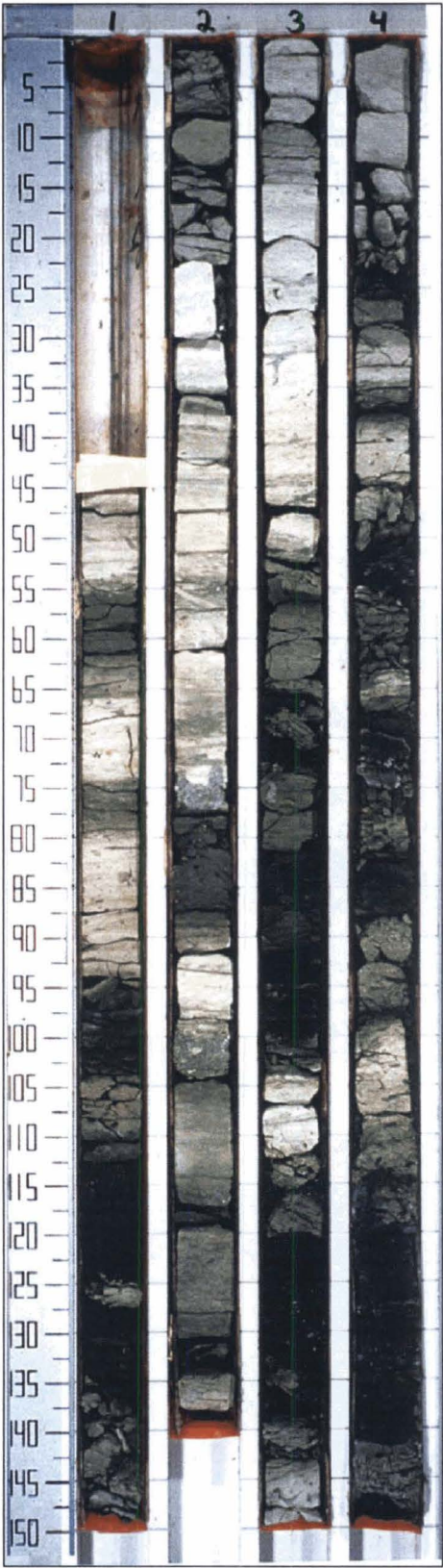


Foto 9.2 - Testemunho #23 do poço DSDP-364.





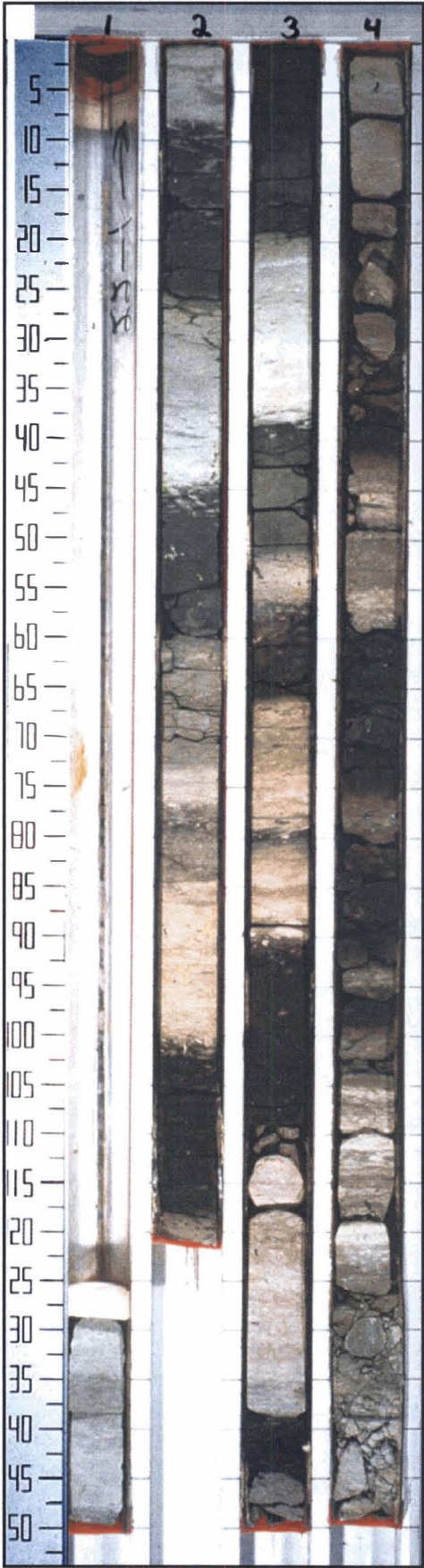


Foto 9.3 - Testemunho #22 do poço DSDP-364.

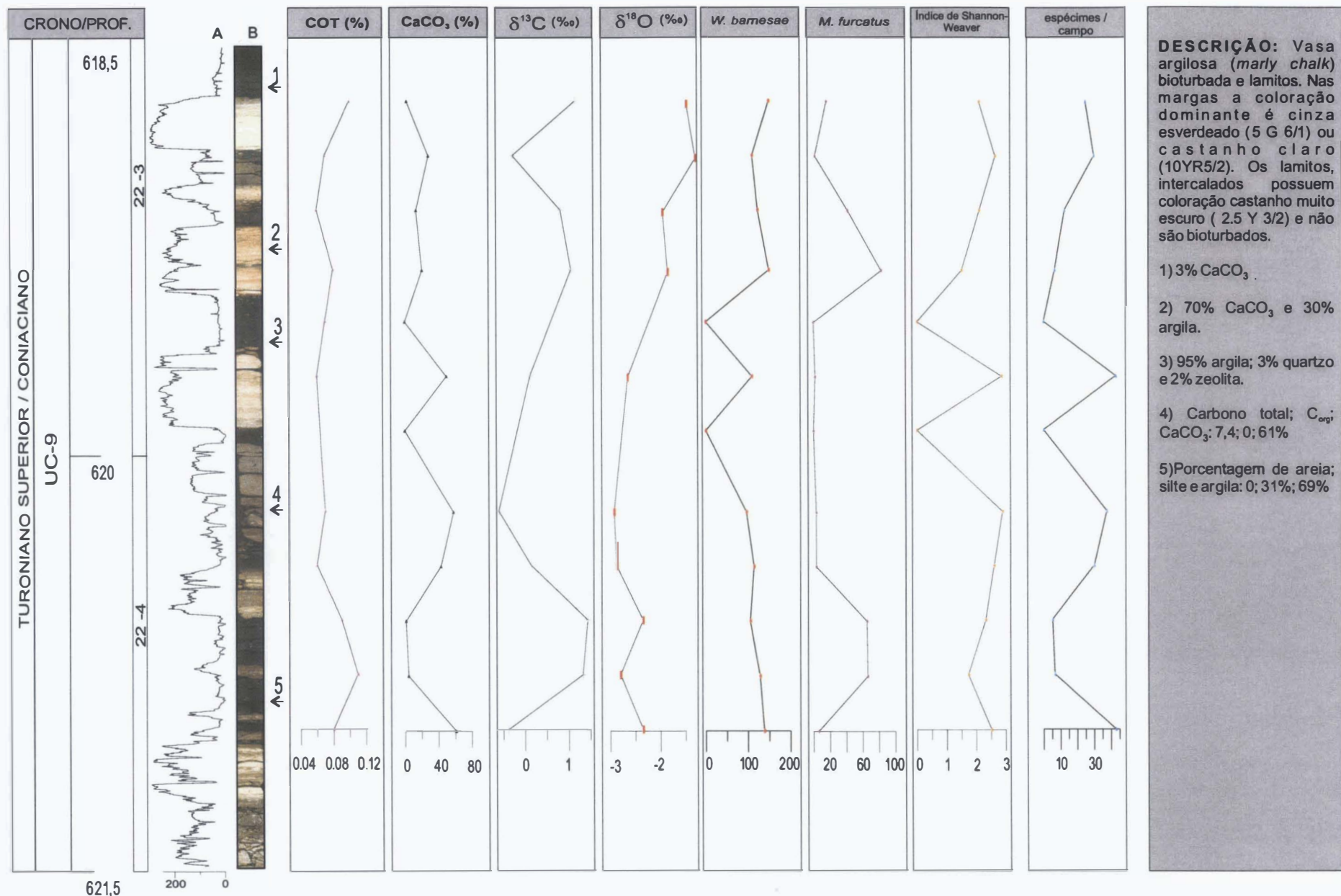


Figura 9.4 - Perfil do índice colorimétrico (A), foto (B) e resultados das análises geoquímicas e quantitativas de nanofósseis do testemunho #22 do poço DSDP-364. Número de *W. bamesae* e *M. furcatus* relativos à contagem total de 300 espécimes ou 100 campos de visão.

O conteúdo e diversidade dos nanofósseis estão relacionados diretamente com a quantidade de  $\text{CaCO}_3$  das camadas. Nos estratos mais argilosos a associação é dominada pela espécie *M. furcatus*, com uma substancial redução no índice de Shannon-Weaver, indicando uma diminuição da diversidade. De maneira oposta, nos intervalos com conteúdo carbonático maior, o índice de Shannon-Weaver e a razão do número de espécimes por campo sofrem um incremento (Foto 9.3; Fig. 9.4).

A alternância de estratos de cores claras e escuras observada nos testemunhos #22 e #23, ilustrada pelo índice de colorimétrico, está diretamente relacionada ao teor de  $\text{CaCO}_3$  da rocha. As camadas de cor escura possuem  $\text{CaCO}_3$  em quantidades mínimas, independente destas terem uma coloração acastanhada escura (2.5Y 3/2) ou preta (N3). Segundo as análises do DSDP as camadas escuras são predominantemente compostas por argila. No testemunho #23 algumas camadas de cor preta possuem COT elevado e pirita. As camadas escuras do testemunho #22 caracterizam-se pelo COT baixo. Em ambos os testemunhos, as rochas de cores claras possuem valores de  $\text{CaCO}_3$  relativamente elevados, sendo que uma grande parte deste carbonato provém dos nanofósseis calcários.

## 9.2 BIOESTRATIGRAFIA

A bioestratigrafia com base em nanofósseis, proposta por Proto Decima *et al.* (1978) para o poço DSDP-364, apresenta diferenças substanciais em relação aos dados bioestratigráficos obtidos neste trabalho (Anexo 5). As profundidades das primeiras ocorrências das espécies-guias *E. eximius*, *M. furcatus* e *M. decussata* não concordam com aquelas determinadas por Proto Decima *et al.* (1978). Estas diferenças, em grande parte, são devido à evolução do conhecimento taxonômico e ao maior detalhamento bioestratigráfico da seção (Fig. 9.5).

A associação de nanofósseis reconhecida por ambos os trabalhos, no testemunho #25, difere essencialmente quanto à ocorrência de *Rhagodiscus asper*. Esta espécie foi assinalada por Proto Decima *et al.* (1978) nos testemunhos #22 e #23; porém, neste trabalho ela é evidenciada somente no testemunho #25.

O testemunho #25 representa, provavelmente, a Biozona UC-0/BC-27, posicionada no limite Albiano/Cenomaniano. A baixa diversidade e a precária preservação



das associações nanofossilíferas não permitem precisar a idade deste testemunho. Sabe-se, com certeza, que esta seção está posicionada entre a última ocorrência de *Axopodorhabdus albianus* e a primeira de *Eiffellithus turrisseiffelli*. A ausência de espécies-guias do Cenomaniano Superior, nas raras amostras com melhor conteúdo e diversidade, permite supor que esta unidade pertença ao Cenomaniano Inferior-Albiano. De acordo com Proto Decima *et al.* (1978) o testemunho #25 é do Albiano Superior.

Os dados apresentados por Proto Decima *et al.* (1978) são igualmente discrepantes em relação aos biorizontes definidos pela primeira ocorrência de *Micula staurophora* (= *Micula decussata*), *Marthasterites furcatus* e *Eiffellithus eximius* (Fig. 9.5). A primeira ocorrência de *M. furcatus* segundo estes autores posiciona-se em 647,1 m (23-3-9), bem abaixo da profundidade assinalada neste trabalho, 621 m (22-4-100). Situação oposta ocorre com *E. eximius*, reconhecido a partir de 621 m (22-CC) por Proto Decima *et al.* (1978), mas segundo os dados levantados neste trabalho ocorre desde 647,4 m (23-3-40). *Micula decussata* não foi reconhecida nos testemunhos estudados; porém, segundo Proto Decima *et al.* (1978) ocorre desde 648,53 m (23-4-7).

A interpretação cronoestratigráfica para o intervalo Turoniano-Coniaciano adotada neste trabalho difere daquela estabelecida por Proto Decima *et al.* (1978). Segundo estes autores somente a seção 4 do testemunho #23, representa o Turoniano superior (Zona *M. decussata*). Segundo a interpretação adotada neste trabalho, o testemunho #22 representa o Coniaciano, mas o #23 é integralmente Turoniano. A sucessão bioestratigráfica deste poço permite, em face do zoneamento utilizado (Burnett, 1998), supor que os testemunhos #22 e #23 correlacionam-se com as biozonas UC-7, UC-8, e UC-9 (Anexo 5; Fig. 9.5).

A partir das estampas do trabalho de Proto Decima *et al.* (1978) conclui-se que *L. moratus* e *E. eptapetalus* foram agrupadas sob a designação de *L. grillii*. Ainda assim, a profundidade da primeira ocorrência da espécie *L. grillii* não é coerente com o posicionamento estratigráfico das espécies *L. moratus* ou *E. eptapetalus*. A primeira ocorrência de *L. moratus* no poço está no mesmo nível estratigráfico de *M. furcatus*, evidenciando que a parte inferior da Zona UC-9 não foi amostrada. Certamente, os problemas relativos ao posicionamento estratigráfico da última ocorrência de *M. decussata* e *R. asper* também devem-se à aplicação de conceitos taxonômicos diferentes.

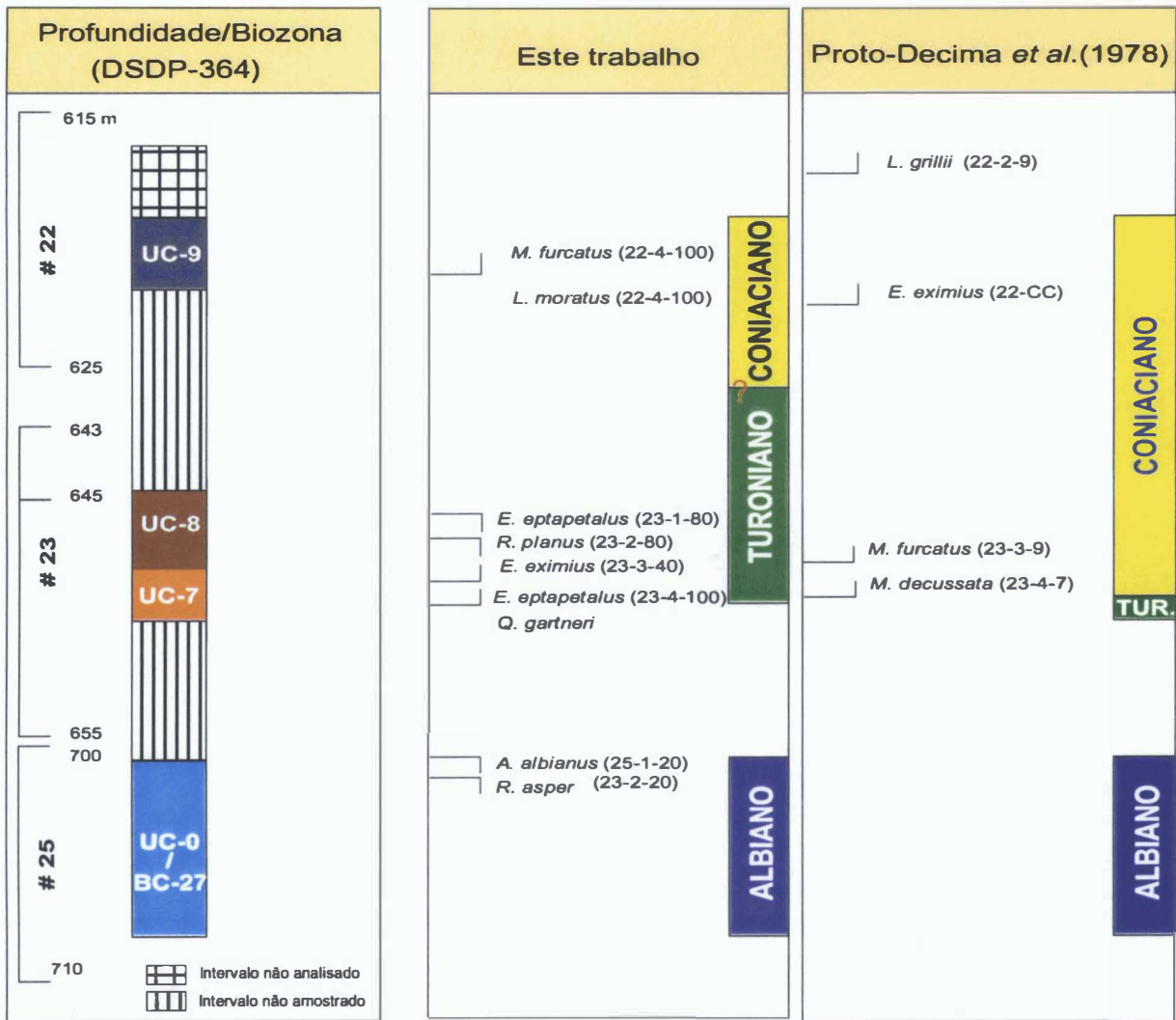


Figura 9.5 - Comparação do posicionamento estratigráfico das espécies-guia estabelecido neste trabalho e o proposto por Proto-Decima *et al.* (1978). Observa-se que as biozonas utilizadas e as interpretações biocronoestratigráficas diferem consideravelmente.

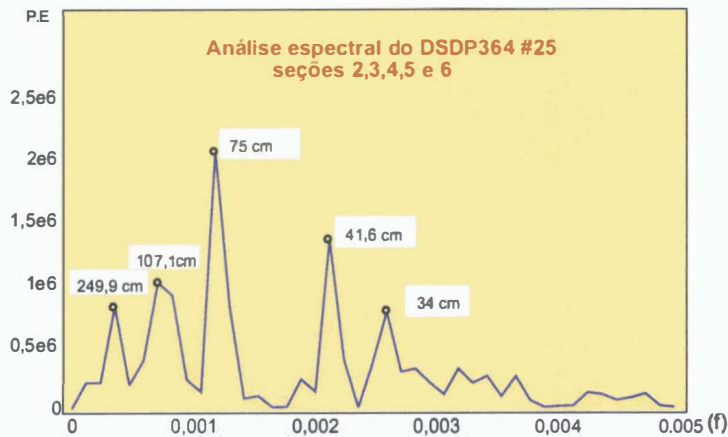


Figura 9.6 - Periodograma da análise espectral da curva do índice colorimétrico do testemunho #25, seções 2, 3, 4 e 5 do poço DSDP-364.



9.3 CICLOESTRATIGRAFIA

O periodograma resultante da análise espectral do índice colorimétrico do testemunho #25 ressalta as frequências relativas aos ciclos de comprimento de onda ( $\lambda$ ) de 249,9; 107,1; 75; 41,6 e 34 cm (Fig. 9.6). Assumindo que o ciclo de  $\lambda$ =107,1 cm representa a excentricidade curta (100 ka), a taxa de acumulação neste intervalo seria de 1,07 cm/ka. Neste caso, o ciclo de  $\lambda$ =41,6 m seria interpretado como correspondente ao sinal de obliquidade (solução 1; Tab. 9.1).

A similaridade entre matrizes fornece ainda uma segunda solução (solução 2; Tab. 9.1). Se considerarmos o ciclo de 75 cm como o de excentricidade curta, seria possível interpretar os ciclos de  $\lambda$ =41,6 cm e o de  $\lambda$ =34,0 cm como ciclos de obliquidade, oscilando entre 50 e 41 ka. Neste caso as taxas seriam mais baixas, variando de 0,75 a 0,82 cm/ka. Outras soluções alternativas implicariam em taxas de acumulação bastante elevadas para o contexto deposicional (soluções 3, 4 e 5; Tab. 9.1). Embora Melguen (1978), tenha atribuído valores da ordem de 4 cm/ka para a taxa de sedimentação do Aptiano e Albiano, tais valores parecem improváveis para ambientes pelágicos e resultam, provavelmente, de dados bioestratigráficos errôneos. Para obter taxas desta ordem de grandeza teríamos que assumir uma duração de 23 ka para o ciclo de 75 cm (solução 5, Tab. 9.1).

| Espessura do ciclo<br>(cm) | Ciclo de Milankovitch<br>(ka) | Taxa de acumulação<br>(cm/ka) |
|----------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
|----------------------------|-------------------------------|-------------------------------|

Solução 1

|      |     |      |
|------|-----|------|
| 1,07 | 100 | 1,07 |
| 0,42 | 41  | 1,02 |

Solução 2

|      |     |      |
|------|-----|------|
| 0,75 | 100 | 0,75 |
| 0,42 | 50  | 0,84 |
| 0,34 | 41  | 0,83 |

Solução 3

|      |    |      |
|------|----|------|
| 0,75 | 50 | 1,50 |
| 0,34 | 23 | 1,48 |

| Espessura do ciclo<br>(cm) | Ciclo de Milankovitch<br>(ka) | Taxa de acumulação<br>(cm/ka) |
|----------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
|----------------------------|-------------------------------|-------------------------------|

**Solução 4**

|      |    |      |
|------|----|------|
| 0,75 | 41 | 1,83 |
| 0,42 | 23 | 1,83 |
| 0,34 | 19 | 1,79 |

**Solução 5**

|      |    |      |
|------|----|------|
| 0,75 | 23 | 3,26 |
| 0,60 | 19 | 3,16 |

Tabela 9.1 – Soluções possíveis para a análise de ciclicidade do testemunho #25 do poço DSDP-364, utilizando-se o método de comparação de matrizes.

No periodograma referente às seções 1, 2 e 3 do testemunho #23 são evidenciados ciclos de 115, 38 e 21 cm de comprimento de onda. Contudo, somente o ciclo mais longo é facilmente reconhecido na curva do índice colorimétrico (Fig. 9.7). Tal fato é atribuído, em parte, às características do método utilizado (FFT), que destaca, principalmente, os ciclos de maior amplitude (ver sub-capítulo 2.4.1). O método de similaridade de matrizes permite supor que os ciclos em destaque são de excentricidade curta ( $\lambda=115$  cm; 100 ka), obliquidade ( $\lambda=38$  cm; 41 ka) e precessão ( $\lambda=21$  cm; 21 ka), o que implica em taxas oscilando entre 0,94 e 1,15 cm/ka.

A análise espectral do índice de cor do testemunho #22 apresentou bons resultados, apesar da aparente irregularidade observada na curva do índice colorimétrico. Observa-se no periodograma que a maior densidade espectral refere-se aos ciclos de comprimento de onda de 75; 42, 9; 33, 3; 15,8 e 11,6 cm, com maior destaque para o ciclo de 42,9 cm (Fig. 9.7). Assumindo que o ciclo de  $\lambda=42,9$  cm tenha uma amplitude temporal compatível com um dos ciclos de Milankovitch, teríamos taxas de acumulação que variam de um valor mínimo de 0,1 cm/ka até um máximo de 2,25 cm/ka, representando, os ciclos de excentricidade longa (410 ka) e precessão (19 ka), respectivamente (Tab. 9.1).

| Ciclo Orbital                 | Taxa de acumulação(cm / ka) |
|-------------------------------|-----------------------------|
| Excentricidade longa (410 ka) | 0,10                        |
| Excentricidade curta (100 ka) | 0,43                        |
| Obliquidade (41 ka)           | 1,04                        |
| Precessão (21 ka / 19 ka)     | 1,86-2,25                   |

Tabela 9.1 – Taxas de acumulação relativas ao ciclo de  $\lambda=42,9$  cm reconhecido na análise espectral do poço DSDP-364, testemunho #22.

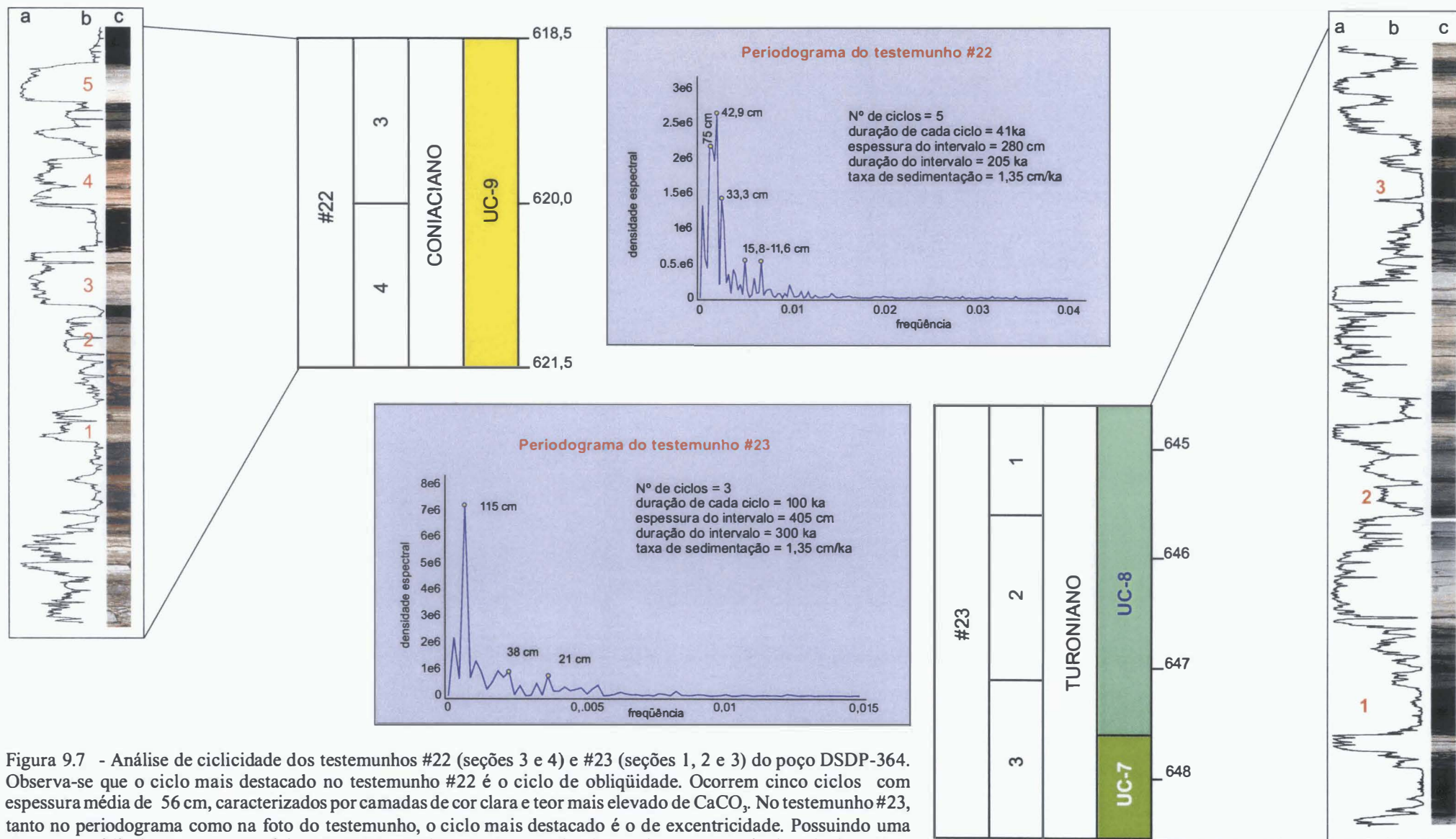


Figura 9.7 - Análise de ciclicidade dos testemunhos #22 (seções 3 e 4) e #23 (seções 1, 2 e 3) do poço DSDP-364. Observa-se que o ciclo mais destacado no testemunho #22 é o ciclo de obliquidade. Ocorrem cinco ciclos com espessura média de 56 cm, caracterizados por camadas de cor clara e teor mais elevado de  $\text{CaCO}_3$ . No testemunho #23, tanto no periodograma como na foto do testemunho, o ciclo mais destacado é o de excentricidade. Possuindo uma espessura média de 135 cm, estes ciclos são representados por três camadas de cor clara e teor mais elevado de  $\text{CaCO}_3$ . LEGENDA: a) índice colorimétrico; b) ciclos reconhecidos; c) foto do testemunho.

Em face às possibilidades oferecidas para interpretação temporal dos ciclos reconhecidos nos testemunhos #22, #23 e #25, e a presença constante dos ciclos de comprimento de onda de cerca de 100, 75, 40 e 20 cm, nos periodogramas referentes a estes testemunhos, conclui-se que a taxa média desta seção seria da ordem de 1 cm/ka. Deste modo, assume-se para o testemunho #25 a solução 1 como correta. No testemunho #22, interpreta-se que o ciclo mais destacado é o de obliquidade, enquanto que no testemunho #23 o ciclo mais visível é o de excentricidade. Acredita-se, que os ciclos de obliquidade e precessão ocorram atenuados no testemunho #23. No caso do testemunho #22, comprimento de onda do ciclo de excentricidade é relativamente longo em relação a espessura do intervalo analisado, dificultando o reconhecimento deste. O ciclo de  $\lambda=75$  cm, reconhecido nos periodogramas dos testemunhos #22 e #25, aparentemente não encontra correspondência com os ciclos de Milankovitch. Por outro lado, o ciclo denominado por Park *et al.* (1993) de *dobble-beat* da precessão talvez esteja registrado, sendo caracterizado pelo ciclo de comprimento de onda de 11,6 cm.

A partir do exposto acima, foi feito o reconhecimento e a contagem dos ciclos nos testemunhos #22 e #23. Esta análise sugere que as seções 3 e 4 do testemunho #22 foram depositadas em 205 ka, e as seções 1, 2 e 3 do testemunho #23 em 300 ka, segundo uma taxa de acumulação de 1,35 cm/ka (Fig. 9.7).

A grande similaridade das taxas de acumulação inferidas para os testemunhos #22 e #23, apesar de separadas por um intervalo de cerca de 23 m sem amostragem, poderia levar-nos a pressupor que a taxa de acumulação neste intervalo foi constante e desta forma estimar que o intervalo Turoniano médio-superior/Coniacino basal presente no poço é da ordem de 2 Ma. Todavia, esta extrapolação pode ser facilmente questionada, uma vez que a seção não amostrada pode conter inconformidades, seções condensadas e turbiditos, alterando substancialmente as taxas de acumulação e a estimativa temporal.

Os dados bioestratigráficos forneceram algumas informações importantes quanto a esta questão. A seções 3 e 4 do testemunho #22 pertencem à parte superior da Biozona UC-9, caracterizada pela ausência de *E. eptapetalus*. O testemunho #23 corresponde à base da Biozona UC-8 e ao topo da Biozona UC-7. Comparando a amplitude temporal destas biozonas, e os resultados das análises de ciclicidade, concluímos que a suposição de que as biozonas UC-9 e UC-8 estejam completas, ou que elas foram depositadas segundo uma taxa

de acumulação constante, são errôneas. Supondo que a taxa de acumulação tenha sido de 1,35 cm/ka durante a deposição dos 30 m existentes entre a base da seção 3 do testemunho #23 e o topo da seção 3 do testemunho #22, este intervalo representaria cerca de 2,0 Ma. Porém, o somatório da amplitude temporal das biozonas UC-9 e UC-8, mais cerca de 0,1 Ma correspondente ao topo da Biozona UC-7, resultam em 2,7 Ma. A diferença de 0,7 Ma sugere uma redução na taxa de acumulação no intervalo não amostrado; ou seja, ele estaria parcialmente condensado. Corroborar esta suposição os resultados do poço DSDP-356, onde a Biozona UC-8 também encontra-se condensada.

Melguen (1978) estimou uma taxa de acumulação média de 1,5 cm/ka para os depósitos pelágicos e hemipelágicos do Turoniano e Coniaciano do poço DSDP-364, e 2,0 cm/ka para o mesmo intervalo no poço DSDP-361, localizado no sul da África na Bacia do Cabo. No poço DSDP-367, na Bacia de Cabo Verde, no norte da África, as taxas de acumulação estimadas para os depósitos do Turoniano são de 0,6 cm/ka (Dean *et. al.*, 1978).

#### 9.4 INTERPRETAÇÃO DOS DADOS E ORIGEM DOS CICLOS

No intervalo Albiano-Cenomaniano do poço DSDP-364 os ciclos são originados por processos de dissolução ou diluição. No testemunho #25 a baixa diversidade e o conteúdo de nanofósseis pobre, com uma associação fossilífera dominada por *W. barnesae* (80-90%), apontam para uma acentuada dissolução da fração carbonática mais fina. Nas raras amostras com COT elevado o carbonato de cálcio foi completamente dissolvido (Fig. 9.2).

Segundo Melguen (1978), a seção albiana do poço DSDP-364 foi depositada em uma profundidade muito rasa, sob influência de influxo terrígeno. A denudação mais efetiva das áreas expostas em períodos úmidos, pode ter causado um aporte mais intenso de sedimentos finos continentais. Se esta hipótese fosse correta, os ciclos de diluição seriam preponderantes sobre os ciclos de dissolução. Entretanto, a análise ao MEV das amostras do testemunho #25 apontam para o predomínio dos ciclos de dissolução (Foto 9.4).

A origem dos ciclos de dissolução deste poço pode estar associada com variações na profundidade da lisóclina. O número reduzido de amostras com COT elevado não justifica a existência de um vínculo entre esses dois processos ao longo de toda a seção amostrada pelo testemunho #25. Adicionalmente, caso houvesse uma relação ampla entre os processos de



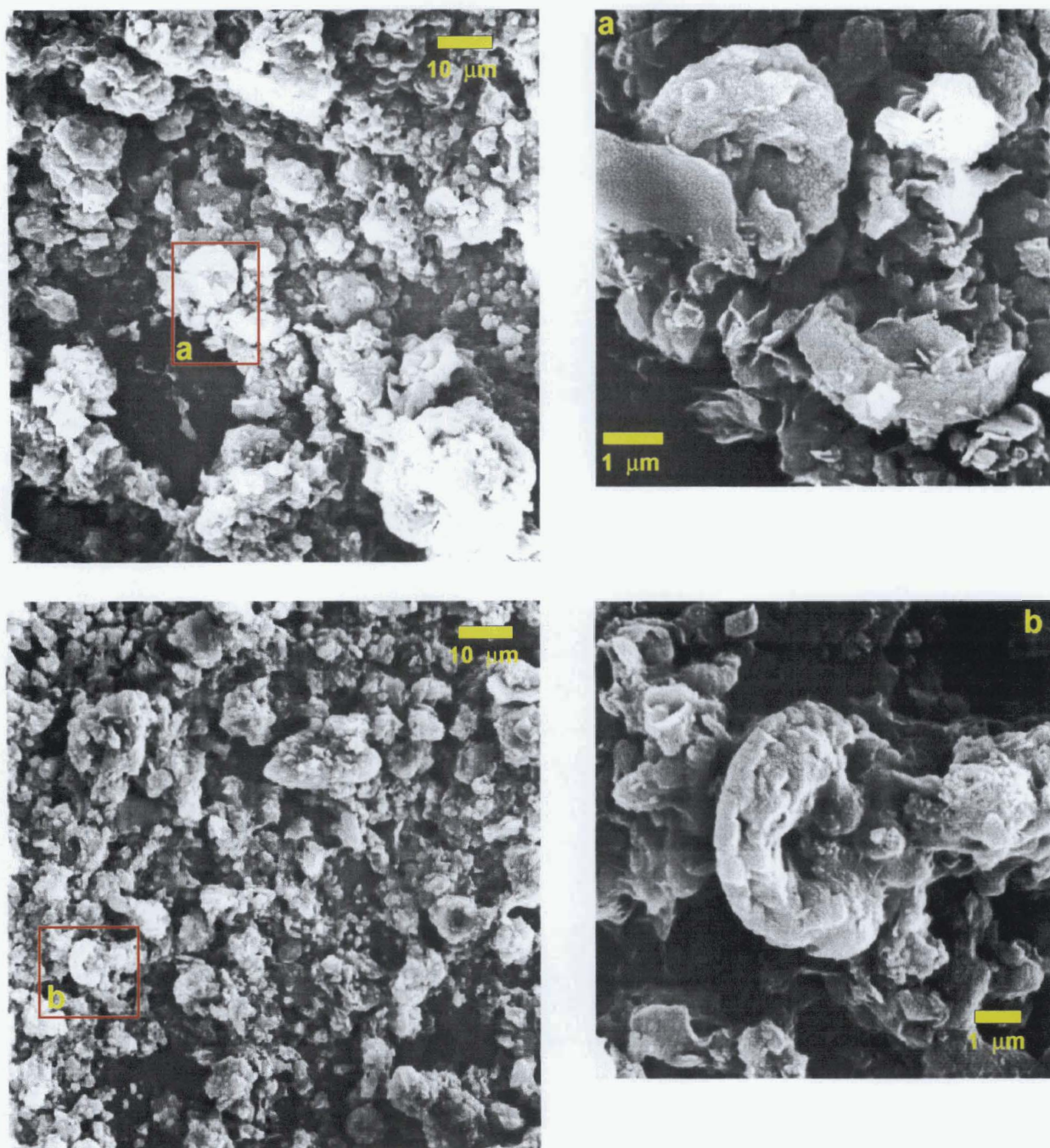


Foto 9.4 - Análise ao MEV da amostra coletada em 706,25 m do poço DSDP-364. Nota-se uma intensa dissolução e reprecipitação de carbonato nos nanofósseis e fragmentos de carbonato de tamanho similar. Mesmo as espécies resistentes a dissolução como a *W. barnesae* estão intensamente dissolvidas (detalhes a e b). Os valores de COT das amostra adjacentes são elevados (704,95 m - 15%; 706,67 - 0,57 %) e o  $\delta^{13}\text{C}$  da amostra estudada é relativamente negativo (-0,79‰). A sulfato- redução da MO das camadas com COT elevado libera  $\text{CO}_2$  isotopicamente mais leve, influenciando o sinal isotópico do carbonato reprecipitado.



degradação da MO e dissolução do carbonato, as flutuações no teor de  $\text{CaCO}_3$  sempre seriam acompanhadas das mudanças nos teores de COT e nos valores de  $\delta^{13}\text{C}$ , o que não ocorre. Logo, as variações de profundidade da lisóclina devem estar associadas principalmente às mudanças paleoceanográficas e aos influxos ocasionais de águas sub-saturadas em carbonatos, ainda que localmente os processos de degradação da MO e dissolução do carbonato estejam inter-relacionados (Foto 9.4).

Os ciclos observados nos testemunhos #22 e #23 resultam do balanço entre a quantidade de argila e a produção de  $\text{CaCO}_3$  e MO. Não existem evidências que esta sucessão tenha sido depositada pela ação de correntes ou processos gravitacionais. A passagem das camadas ricas em carbonato para as argilosas ocorre de maneira transicional tanto na base como no topo das camadas (Bolli *et al.*, 1978). Logo, estas rochas devem ter sido formadas pela deposição de sedimentos biogênicos e terrígenos em suspensão. As camadas com teores mais elevados de  $\text{CaCO}_3$ , foram depositadas sob condições normais de oxigenação, mostrando acentuada bioturbação. Os argilitos, ainda que não apresentem o teor de COT elevado, não são bioturbados ou mostram bioturbação moderada, sinalizando que o ambiente era estressante e disóxico (Bolli *et al.*, 1978).

A escassez e a baixa diversidade de nanofósseis nos argilitos, caracterizada pela redução nos índices de Shannon-Weaver e pelo número de espécimes por campo, pode ser associada à dissolução ou inexistência de condições ecológicas para a proliferação da maioria das espécies de nanofósseis, que são o principal constituinte dos carbonatos. Nos testemunhos #22 e #23 os baixos teores de COT favorecem a idéia que o aumento de argilosidade represente períodos cujas condições paleoecológicas eram inóspitas à maioria das espécies deste grupo. O maior influxo continental tornou a superfície d'água rica em nutrientes deflagrando um aumento de produtividade primária. No estágio inicial deste processo, somente algumas espécies de nanofósseis oportunistas adaptados a condições mesotróficas-eutróficas sobreviveriam, podendo até proliferar mais intensamente. Assumindo que *M. furcatus* e *E. eptapetalus* são espécies oportunistas, a proliferação destas espécies pode ter sido favorecida pela alteração de alguns parâmetros ecológicos fundamentais, como aumento dos nutrientes, alteração da salinidade e redução da luz na zona fótica devido à maior turbidez d'água. Uma vez atingida as condições eutróficas, somente os organismos não carbonáticos sobreviveriam (p. ex., dinoflagelados, radiolários e bactérias).

Admitindo-se que a curva de  $\delta^{13}\text{C}$  representa um sinal primário, a covariação positiva entre esta curva e a do COT sugere a alternância de períodos de maior e menor produtividade. Se considerarmos que estas curvas possuem uma covariação negativa com o teor de  $\text{CaCO}_3$ , pode-se inferir que o aumento de produtividade foi induzido pela entrada de argila no sistema (Figs. 9.4 e 9.5). Deste modo, os ciclos evidenciados neste poço poderiam ser classificados como ciclos de diluição e produtividade primária. Os eventos disóxicos-anóxicos seriam eventuais, induzidos pelo aumento acentuado da quantidade de MO de origem fitoplanctônica e conseqüente aumento do consumo de oxigênio. Considerando que as taxas de acumulação são baixas, a preservação da MO pode ter sido prejudicada, mesmo sob condições disóxicas a MO pode ter sido oxidada ainda na coluna d'água (Müller & Suess, 1979; Bralower & Thierstein, 1984).

Os teores de COT no testemunho #23 são localmente mais elevados suportando a hipótese de dissolução. Mesmo assim, somente em poucas amostras o teor é elevado o suficiente para justificar uma dissolução intensa do carbonato induzida pelos produtos dos processos de degradação da MO. Thierstein & Roth (1991) postulam que no intervalo Albiano deste poço (testemunho #24), a covariação positiva dos dados de  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{18}\text{O}$  foi causada por processos diagenéticos e entrada de fluidos hipersalinos. Para estes autores os valores mais positivos de  $\delta^{13}\text{C}$ , evidenciado nos argilitos, não possuem uma causa primária, ou seja, não resultam do aumento da produtividade primária. O desvio para valores mais positivos na curva de  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{18}\text{O}$  seriam o produto da dissolução do carbonato biogênico e reprecipitação sob condições metanogênicas influenciadas pela entrada de águas hipersalinas provenientes dos estratos albo-aptianos subjacentes (capítulo 6). Contudo, nos testemunhos #22 e #23 não existem evidências de intensa corrosão ou recristalização dos nanofósseis justificando uma dissolução induzida por metanogênese da MO (Foto 9.5).

O aumento relativo de *M. furcatus* e *E. eptapetalus* e o desvio do  $\delta^{13}\text{C}$  para valores mais positivos nas rochas mais argilosas, seriam resultantes de fatores ecológicos, porém aparentemente amplificados em virtude dos valores mais negativos do  $\delta^{13}\text{C}$  característico das rochas com  $\text{CaCO}_3$  mais elevado. A constituição da associação nanofossilífera depositada nas camadas mais ricas em  $\text{CaCO}_3$  não sugere intensa dissolução; Contudo, é provável que a sulfato-redução da MO das camadas adjacente com COT elevado, possa ter causado a dissolução e reprecipitação de  $\text{CaCO}_3$  isotópicamente mais leve tanto para o carbono como para o oxigênio (capítulo 6).

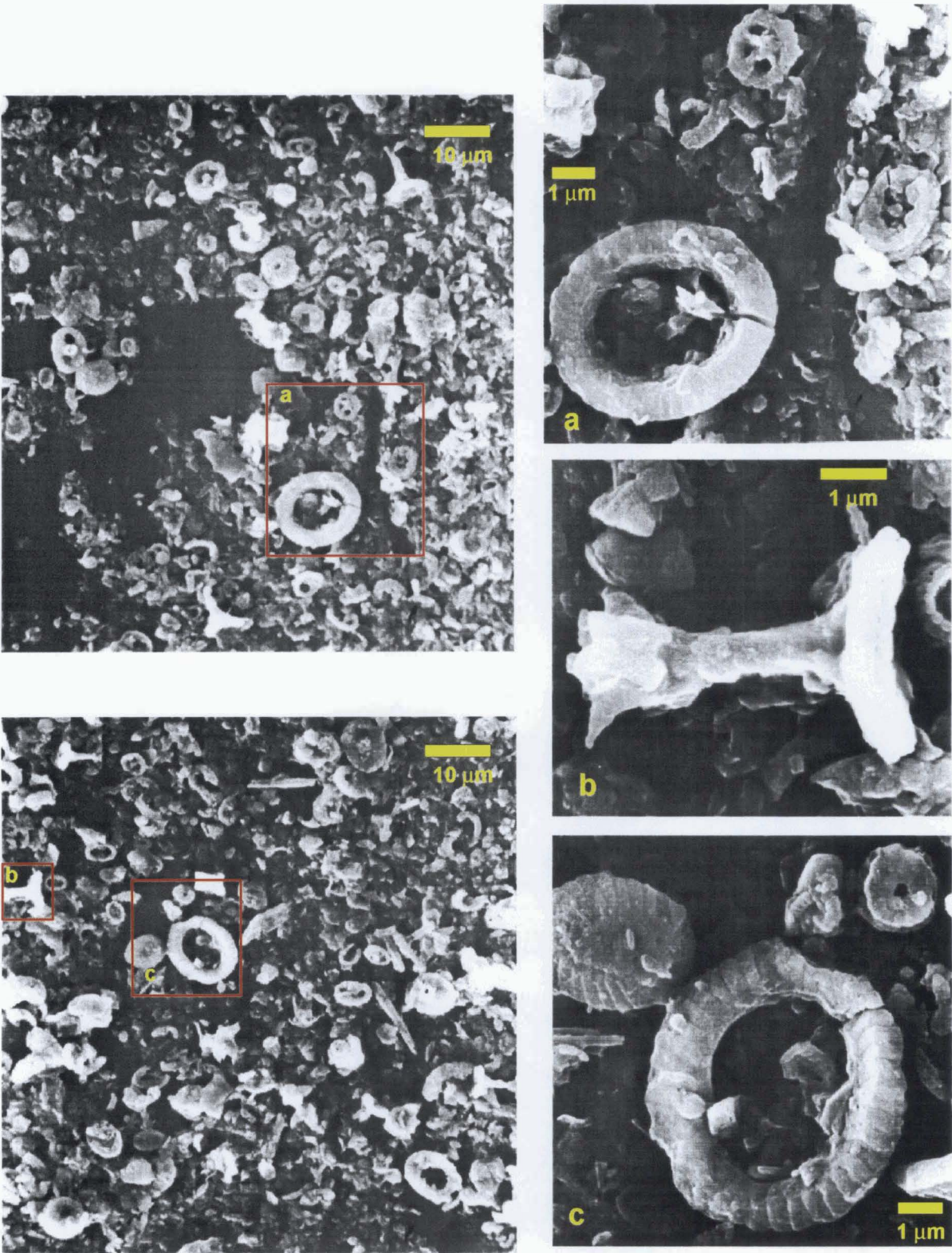


Foto 9.5 - Análise ao MEV da amostra coletada a 621 m do poço DSDP-364. Não existe evidência de dissolução dos nanofósseis e dos fragmentos de carbonatos de tamanho semelhante a estes fósseis. As placas constituintes dos nanofósseis estão bem preservadas (detalhes a, b e c).

A tendência para valores menos negativos na curva de  $\delta^{18}\text{O}$  pode ser interpretada como resultante do resfriamento gradual das águas influenciada pela intensificação das correntes oceânicas provenientes da parte austral do oceano. Com a redução da eficiência da barreira oceanográfica formada pelas elevações de Rio Grande e Walvis é possível que no Turoniano tenha estabelecido-se um giro anticiclônico mais efetivo (sub-capítulo 3.2.1). Contudo, oscilações menores para valores menos negativos podem representar a precipitação de cimento próximo ao fundo do oceano, sob temperaturas mais frias do que àquelas onde viviam originalmente o nanoplâncton calcário.

De qualquer forma, a dissolução associada aos processos de decomposição da MO não foram determinantes na formação dos ciclos. Os valores de COT são relativamente baixos e o aumento relativo de *M. furcatus* e *E. eptapetalus*, se interpretados exclusivamente como produtos de dissolução, deveriam estar acompanhados pelo aumento de *W. barnesae*, espécie considerada como resistente à dissolução (Hill, 1975; Roth & Bowdle, 1981; Bralower, 1988; Williams & Bralower, 1995).

Conclui-se que os ciclos observados resultam do aumento de produtividade primária, induzida pela variação do influxo continental e de nutrientes (sub-capítulo 7.1.1). Os períodos de elevada argilosidade causariam uma redução drástica na diversidade e na quantidade de nanofósseis, devido às mudanças dos parâmetros ambientais: turbidez, salinidade, temperatura e nível trófico. O aumento da produção de MO induziria a diminuição do oxigênio, causando a diminuição ou ausência de vida bentônica. Adicionalmente, a entrada de argila no sistema contribuiria na diluição da fração carbonática. Finalmente, em determinados períodos, a elevada produção de MO levaria as condições de fundo a uma situação de anoxia. O aporte de argila e de nutrientes teria sido modulado por oscilações climáticas. Os períodos de maior denudação das áreas fontes, representados pelas rochas pobres em carbonato, são o registro de épocas mais úmidas.

### PARTE III - CICLICIDADE EM SUCESSÕES SEDIMENTARES DOMINADAS POR ROCHAS RICAS EM MATÉRIA ORGÂNICA E TURBIDITOS SÍLTICO-ARGILOSOS.

#### 10. BACIA DE ANGOLA (POÇO DSDP-530A).

O poço DSDP-530A foi perfurado na Bacia de Angola, cerca de 15 km ao norte do sopé da Elevação de Walvis e a 150 km do sopé do talude da margem continental africana, em uma profundidade d'água de 4629 m (Fig. 10.1). Os testemunhos deste poço recuperaram cerca de 1121 m de rochas do Cretáceo Superior e do Cenozóico.

O objetivo principal deste poço foi definir a história paleoambiental do Oceano Atlântico Sul durante o Cretáceo, quando os principais folhelhos negros foram depositados. A existência de depósitos ricos em  $C_{org}$  já era conhecida a partir dos resultados obtidos em outros poços do DSDP na Bacia de Angola e nas áreas contíguas (DSDP-361, DSDP-363 e DSDP-364); contudo, a origem destas rochas permanecia relativamente desconhecida sob vários aspectos. Segundo Hay *et al.* (1984), uma das principais questões a ser elucidada era determinar se durante o Cenomaniano-Turoniano o fundo da Bacia de Angola era anóxico ou se a zona de anoxia se restringia à plataforma. Outro aspecto abordado consistia em definir se o principal fator deflagrador da anoxia teria sido o aumento de produtividade primária ou a diminuição do suprimento de oxigênio devido à estratificação das águas oceânicas.

Segundo Hay *et al.* (1984) foram registradas no intervalo compreendido entre o Albiano e o Santoniano, 260 camadas de folhelhos negros com espessuras de 1 a 60 cm e COT variando entre 1 e 16% . Estas camadas estão associadas com turbiditos siltico-argilosos, argilitos e lamitos de coloração verde e vermelha, com eventuais "zonas" enriquecidas em carbonato de cálcio. Os turbiditos, segundo os autores, podem ter auxiliado no transporte e concentração da matéria orgânica, que é principalmente de origem marinha, imatura e parcialmente proveniente de uma plataforma periodicamente anóxica-disóxica.

A maior parte dos estudos sobre os folhelhos negros do poço DSDP-530A encontram-se no relatório científico inicial da "pernada" de número 75 (Hay *et al.*, 1984). Para vários pesquisadores os folhelhos negros do Cenomaniano-Turoniano diferenciam-se dos demais depósitos, igualmente ricos em MO, pelo aumento de MO de origem marinha

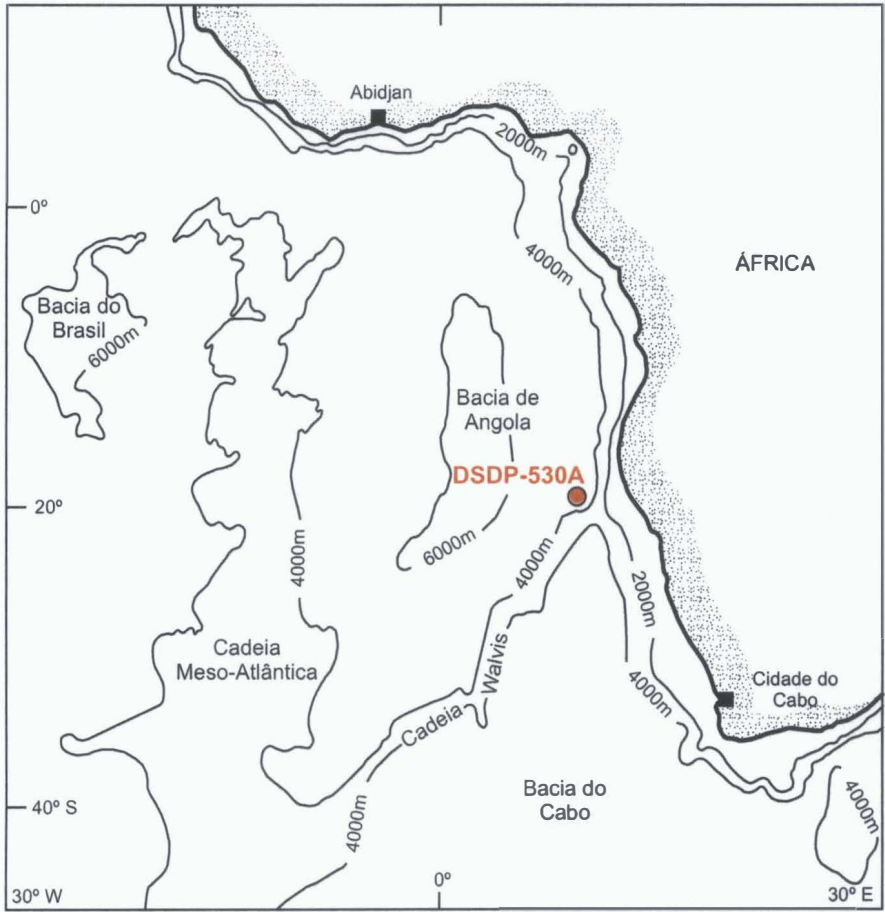


Figura 10.1 - Mapa de localização do poço DSDP-530A (Modificado de Hay *et al.*, 1984).



(Dean *et al.*, 1984; Stow, 1984; Deroo *et al.*, 1984). Diferente destas interpretações, Meyers *et al.* (1984) e Nohara *et al.* (1984) acreditam que os folhelhos negros resultam da concentração de MO predominantemente de origem continental. Segundo alguns autores, a MO dos folhelhos negros foi remobilizada da plataforma e redepositada por correntes de turbidez (Dean *et al.*, 1984; Stow, 1984; Meyers *et al.*, 1984; Nohara *et al.*, 1984). Contudo, Deroo *et al.* (1984), de maneira distinta, defendem que os depósitos ricos em MO possuem uma origem pelágica-hemipelágica.

Segundo Dean *et al.* (1984) a seção do Cenomaniano-Turoniano registra processos periódicos climático-orbitais somados a processos aperiódicos, relacionados principalmente aos turbiditos. Os ciclos de oxi-redução responsáveis pela formação dos folhelhos negros do poço DSDP-530A seguem um padrão cíclico da ordem de 20 a 100 ka, com média entre 40 e 50 ka. Para Stow & Dean (1984) a origem das camadas ricas em MO deve-se a diversos processos que seguem uma periodicidade entre 9,6 e 393 ka, estimativa obtida pela divisão da duração temporal do intervalo onde predominam as camadas ricas em MO pelo número de camadas. De acordo com Deroo *et al.* (1984) a formação destes depósitos deve-se à alternância de períodos úmidos e secos modulados por mecanismos climáticos-orbitais. Estas mudanças climáticas ocorreriam tanto na escala sazonal, formando lâminas milimétricas, como em uma escala compatível com os ciclos de Milankovitch.

O principal objetivo deste capítulo é verificar se existe uma relação entre os ciclos de Milankovitch e a origem dos depósitos ricos em MO do poço DSDP-530A. A existência de tal relação provê um suporte adicional às observações anteriormente feitas sobre a origem climática-orbital dos depósitos turonianos da Bacia de Angola.

Conforme o método adotado nesta tese, a análise de ciclicidade foi feita nos dados da curva do índice colorimétrico dos testemunhos. A partir da regularidade das camadas escuras ao longo da seção, concluiu-se que somente o intervalo compreendido entre a seção 4 do testemunho #96 e a seção 2 do testemunho 100 seria adequado à análise cicloestratigráfica. Os demais intervalos possuíam um número menor de camadas escuras cuja ocorrência não segue um padrão regular, sendo por isto descartados.

Os dados geoquímicos utilizados foram principalmente os de COT e  $\text{CaCO}_3$ , complementados pelos dados publicados no relatório científico inicial da “pernada 75” (Anexo 6). Os dados de isótopos de carbono e oxigênio da fração carbonática obtidos em

alguns testemunhos não apresentaram bons resultados, existindo evidências que estes dados foram afetados por processo diagenéticos relacionados à degradação da MO.

Os resultados provenientes da análise dos nanofósseis foram significativos na determinação da idade dos testemunhos, porém pouco úteis nas interpretações paleoceanográficas. A análise quantitativa deste grupo reforça a observação feita por Roth (1984) que em muitos intervalos deste poço, principalmente aqueles mais ricos em MO, grande parte dos nanofósseis foram dissolvidos. Mesmo assim, a utilização de espécies mais resistentes à dissolução permitiu obter-se um arcabouço bioestratigráfico detalhado o suficiente para embasar o estudo cicloestratigráfico.

## 10.1 APRESENTAÇÃO DOS DADOS

O intervalo compreendido entre os testemunhos #87 e #105 (940-1103 m) é denominado no relatório do DSDP (Hay *et al.*, 1984) como "Unidade Oito", sendo formado por uma sucessão de argilitos verdes e vermelhos com camadas de folhelhos negros e lâminas de siltito. Esta seção foi denominada por Stow (1984) como associação de planície basinal (*Basin Plain Association*) composta por depósitos pelágicos, hemipelágicos e turbiditos síltico-argilosos. O reconhecimento dos depósitos turbidíticos em muitos casos é prejudicado devido à bioturbação; contudo, o predomínio destes restringe-se ao topo e à base desta unidade. Segundo este autor, no topo e na base da "Unidade Oito" existem cerca de 5 a 10 turbiditos por metro, sendo que alguns deles são ricos em MO (Fig. 10.2). As relações entre os folhelhos negros e as camadas verde ou vermelha são ilustradas na figura 10.3. A sucessão mais freqüente é composta por argilitos esverdeados sobrepostos por folhelhos negros, piritizados na base (Fig. 10.3a). Um pouco menos freqüente, porém ainda importante, são as sucessões que iniciam com argilitos vermelhos escuros, gradam para verde claro a escuro, passam para cinza escuro, e terminam com folhelhos negros. Sobrepostos a estes, em algumas situações, ocorrem finas lâminas de siltito e em outras argilitos cinza (Figs. 10.3b e 10.3c). Existem ainda outras combinações (Figs. 10.3d e 10.3e), porém em nenhuma é evidenciado o contato direto dos argilitos vermelhos com os folhelhos negros (Stow & Dean, 1984 e Hay *et al.*, 1984).

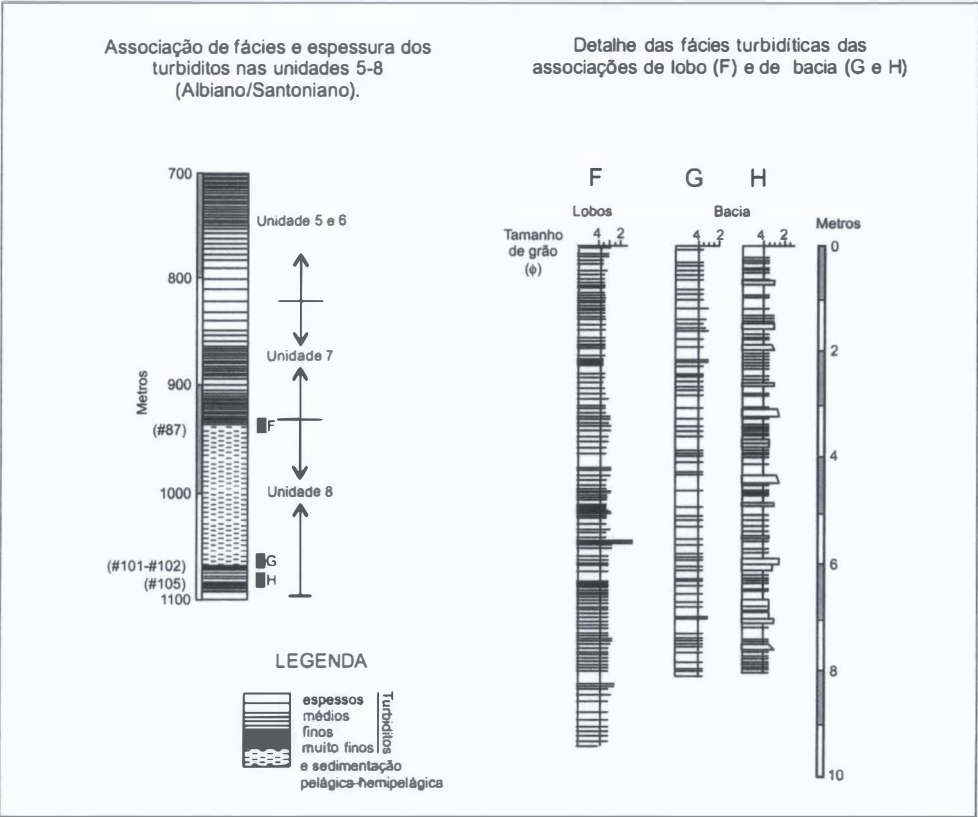


Figura 10.2 - Caracterização das fácies turbidíticas do poço DSDP-530A. Observa-se que os turbiditos do testemunho #87 associam-se às fácies de lobo (F), enquanto os turbiditos do testemunhos #101 e #102 associam-se às fácies de planície basal (G e H); (Modificado de Stow, 1984).

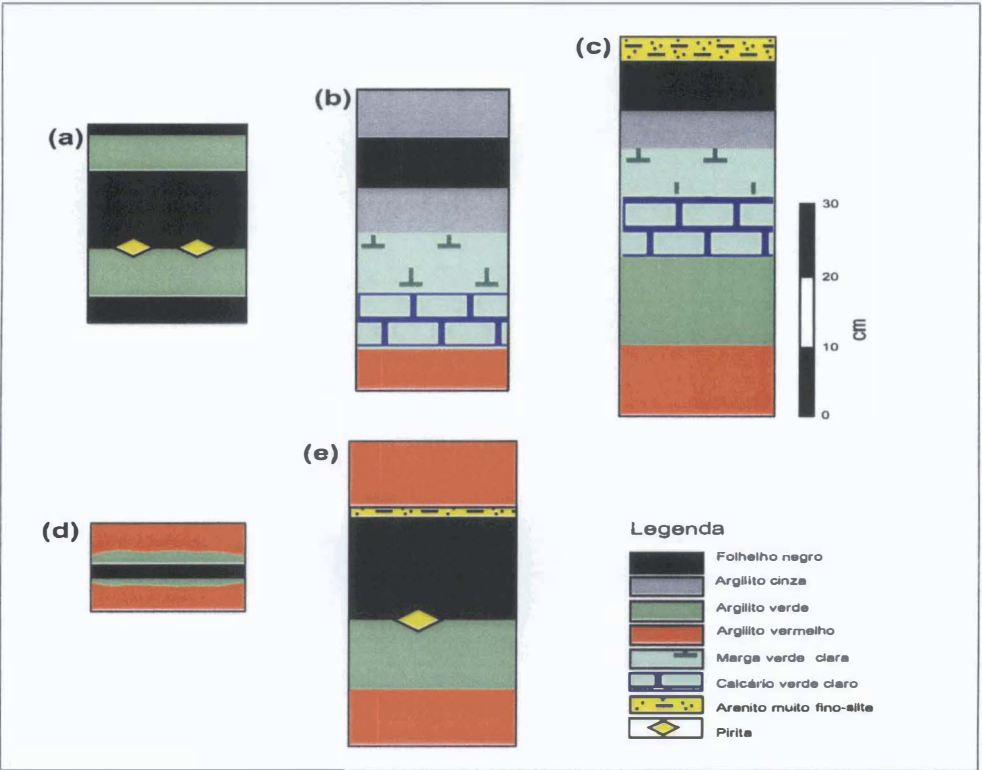


Figura 10.3 - Sequências litológicas mais comuns associadas aos folhelhos negros. (a) ocorre 60% das vezes; (b - c) cerca de 30%; (d - e) menos de 5% (Modificado de Stow & Dean, 1984).

Os testemunhos #102 e #100 (Fotos 10.1 e 10.2; Figuras 10.4 e 10.5) representam uma sucessão de argilitos, lamitos e margas, com algumas lâminas de siltito. As cores destes estratos variam entre castanho avermelhado claro a escuro (5 YR 6-4/1), e cinza esverdeado claro a escuro (5G 8/1- 5G 6/1). Ocorrem esporádicas camadas de folhelhos negros laminados (N2-N3), freqüentemente interrompidas por lâminas de siltito. Com exceção das camadas ricas em MO, o restante do intervalo apresenta bioturbação. Estes pacotes constituem a parte mais basal da associação de planície basinal, caracterizada por turbiditos pouco espessos com tendência à diminuição de granulometria e espessamento em direção ao topo (Fig. 10.2).

As características geoquímicas (COT,  $\text{CaCO}_3$ ,  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{18}\text{O}$  da fração carbonática) do testemunho #102 e das seções 3, 4 e 5 do testemunho #100 são bastante similares (Figuras 10.4 e 10.5). Nos folhelhos negros o COT aumenta, mas raramente passa de 2%. Nestas camadas os valores de  $\text{CaCO}_3$  normalmente estão em torno de zero. No restante da seção o COT é muito baixo, inferior a 0,1 %, e o  $\text{CaCO}_3$  oscila entre 10 a 30%. Existe uma covariação positiva dos valores do  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{18}\text{O}$ , sendo que alguns deles são acentuadamente negativos (no testemunho #100 o  $\delta^{13}\text{C}$  varia de  $-7,48 \text{ ‰}$  a  $+0,9 \text{ ‰}$ , e o  $\delta^{18}\text{O}$  de  $-9,88 \text{ ‰}$  a  $-2,05 \text{ ‰}$ ). Existe uma tendência destes valores tornarem-se mais negativos nas camadas adjacentes aos folhelhos escuros mais ricos em MO (Figs. 10.4 e 10.5). O testemunho #101 não dispõe de dados geoquímicos.

As associações de nanofósseis são dominadas pelas espécies *E. floralis* e *W. barnesae*, esta última espécie constituindo freqüentemente 80% da assembléia fossilífera. No testemunho #102 são mais freqüentes as amostras com maior diversidade e abundância de nanofósseis, existindo uma tendência de covariação positiva entre a quantidade de  $\text{CaCO}_3$  e o número de espécimes por campo (Fig. 10.4).

O intervalo entre os testemunhos #100 (base da seção 2) e #96 (topo da seção 4) caracteriza-se por uma sucessão de argilitos e lamitos de cores verde e cinza esverdeado (5G 4/1 e GY 4/1) com folhelhos negros (N2-N3) regularmente espaçados. Os argilitos de cor avermelhada (5YR 6-8/1) são pouco expressivos, e estão restritos aos testemunhos #99 e #96. Os depósitos ricos em MO ocorrem com maior freqüência e regularidade nos testemunhos #97 e #98. Ao longo de todo o intervalo ocorrem “zonas” de cor verde clara (5GY 5/2, 5 G 6/1 e GY 6/1), com teores de  $\text{CaCO}_3$  um pouco mais elevados oscilando entre 10-20% e raramente atingindo 50% (Foto 10.3 e Fig. 10.6, testemunho #99; Foto 10.4 e Fig. 10.7, testemunho 98; Foto 10.5 e Fig. 10.8, testemunho #97; Foto 10.6 e Fig. 10.9, testemunho #96).

Com exceção dos folhelhos negros, toda a seção é bioturbada. Várias camadas de turbiditos foram identificadas ao longo deste intervalo. Estes depósitos geralmente caracterizam-se por uma sucessão que grada de argilitos verdes a folhelhos negros, com contatos bruscos ou transicionais, passando para argilitos ou siltitos de cor cinza escuro. Frequentemente ocorre pirita na base dos folhelhos laminados (Fig. 10.3).

O valor de COT nos folhelhos negros é elevado, principalmente nos testemunhos #97 e #98 (valor máximo de 16%). O COT nos argilitos verdes oscila muito, mas frequentemente é baixo, menor que 0,5%. O teor de carbonato de cálcio nas amostras deste testemunho, com raras exceções está em torno de zero (Figs. 10.7 e 10.8).

Os dados paleontológicos apontam para amostras estéreis ou extremamente pobres em nanofósseis no intervalo entre 1026,4 m (testemunhos #97-1-40) e 1054,6 m (testemunho #100-1-19); abaixo e acima desta seção alternam-se amostras pobres e com conteúdo e diversidade moderados (Anexo 7).

Um terceiro intervalo, composto pelos testemunhos #96 (a partir do topo da seção 4), #95 (Foto 10.7; Fig. 10.10), #93 (Foto 10.8; Fig. 10.11), #89 (Fig. 10.11) e #87 (Fig. 10.11) é caracterizado pelo domínio de argilitos vermelhos. Em algumas partes, intercalados nos argilitos, ocorrem camadas pouco espessas de folhelhos negros. A ocorrência destas camadas é bastante irregular e os teores de COT raramente chegam a 2%. Entretanto, dados de outras fontes apontam para valores de até 9% (Deroo *et al.*, 1984 e Jasper *et al.*, 1984). De qualquer forma, os depósitos com teores de COT elevados são raros neste intervalo. Os teores de  $\text{CaCO}_3$  na maior parte das amostras é muito baixo, principalmente no testemunho #95. Nos outros testemunhos este valor eventualmente atinge mais de 20%.

O comportamento dos dados de  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{18}\text{O}$  nos testemunhos #87 (seções 4 e 5), #89 (seção 1) e #93 (seção 2) é muito similar ao observado nos testemunhos #102 e #100. Os resultados das análises de nanofósseis são bastante variáveis: alternam-se amostras com relativa abundância e diversidade e amostras estéreis; existe uma relação direta entre o conteúdo fossilífero e o teor de  $\text{CaCO}_3$  (Fig 10.11).

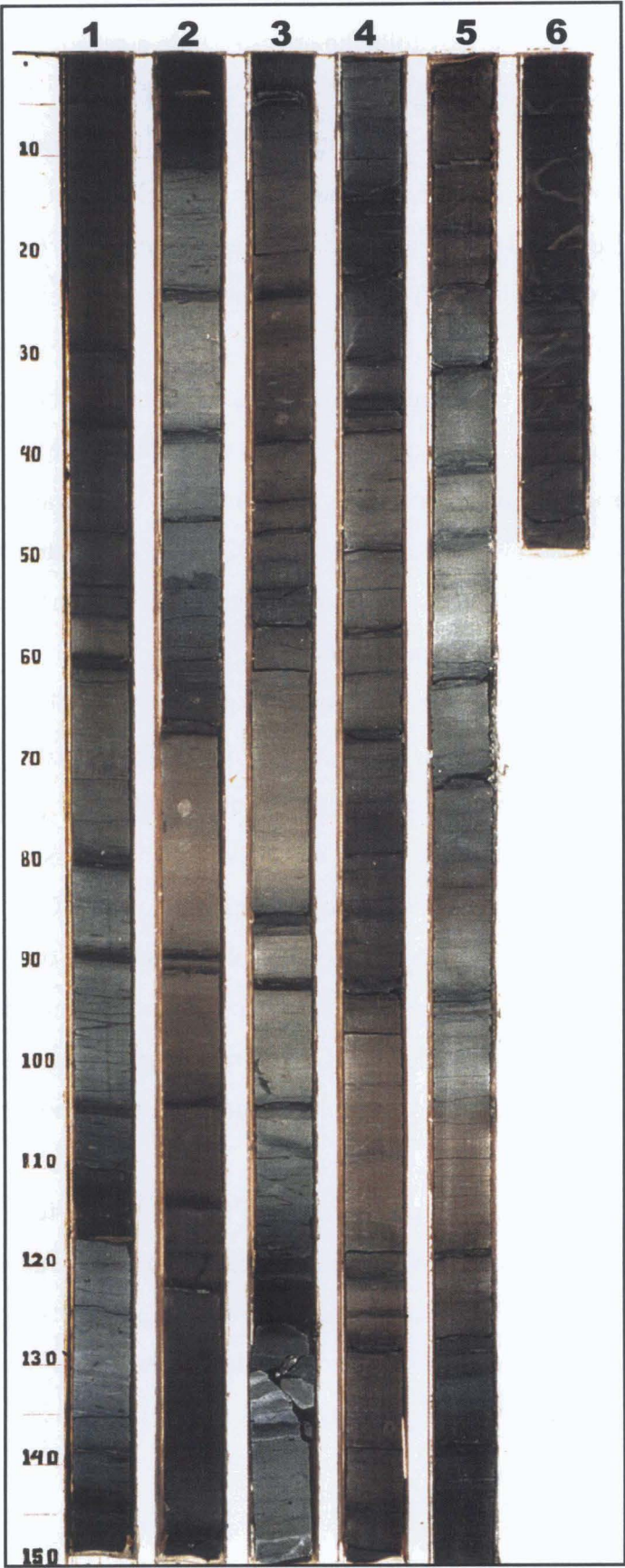


Foto 10.1 - Testemunho #102 do poço DSDP-530A.



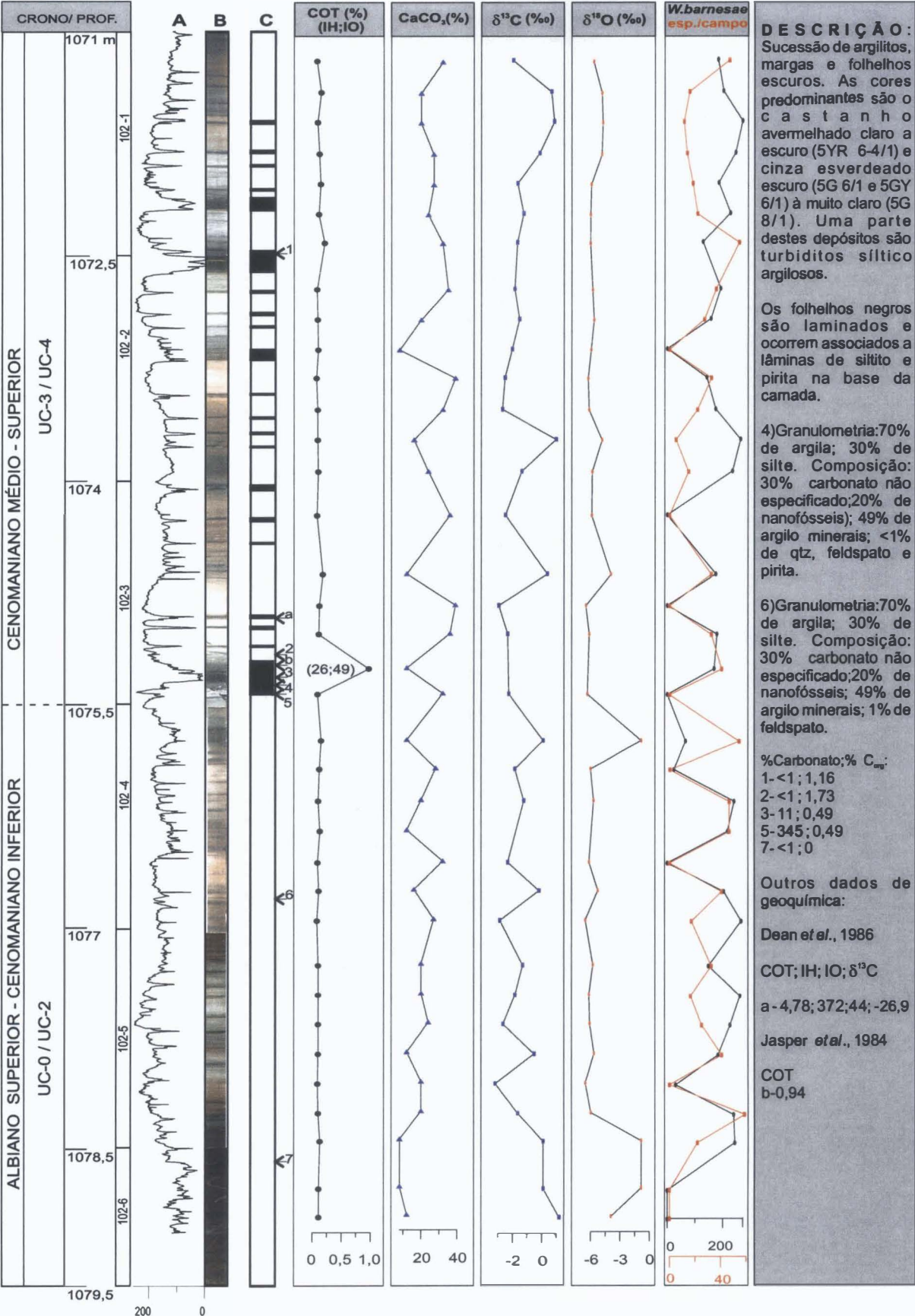


Figura 10.4 - Perfil do índice colorimétrico (A), foto (B), posição dos folhelhos negros (C) e resultados das análises geoquímicas e quantitativas de nanofósseis do testemunho #102 do poço DSDP-530A. Número de *W. barnesae* relativo à contagem total de 300 espécimes ou 100 campos de visão.

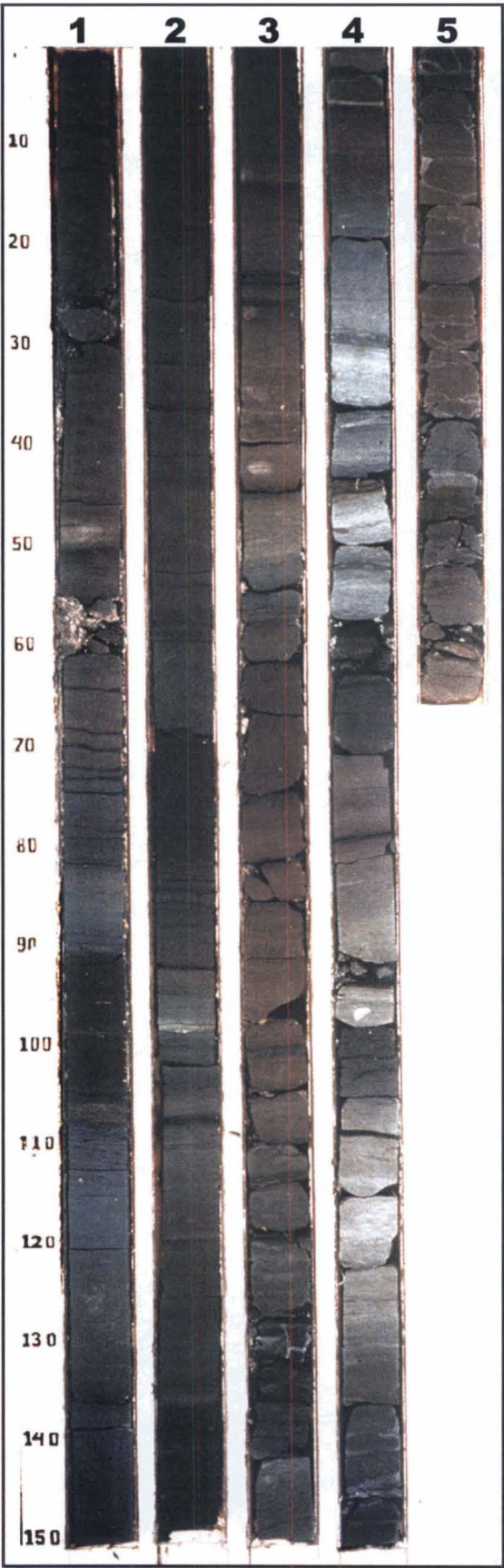


Foto 10.2 - Testemunho #100 do poço DSDP-530A.



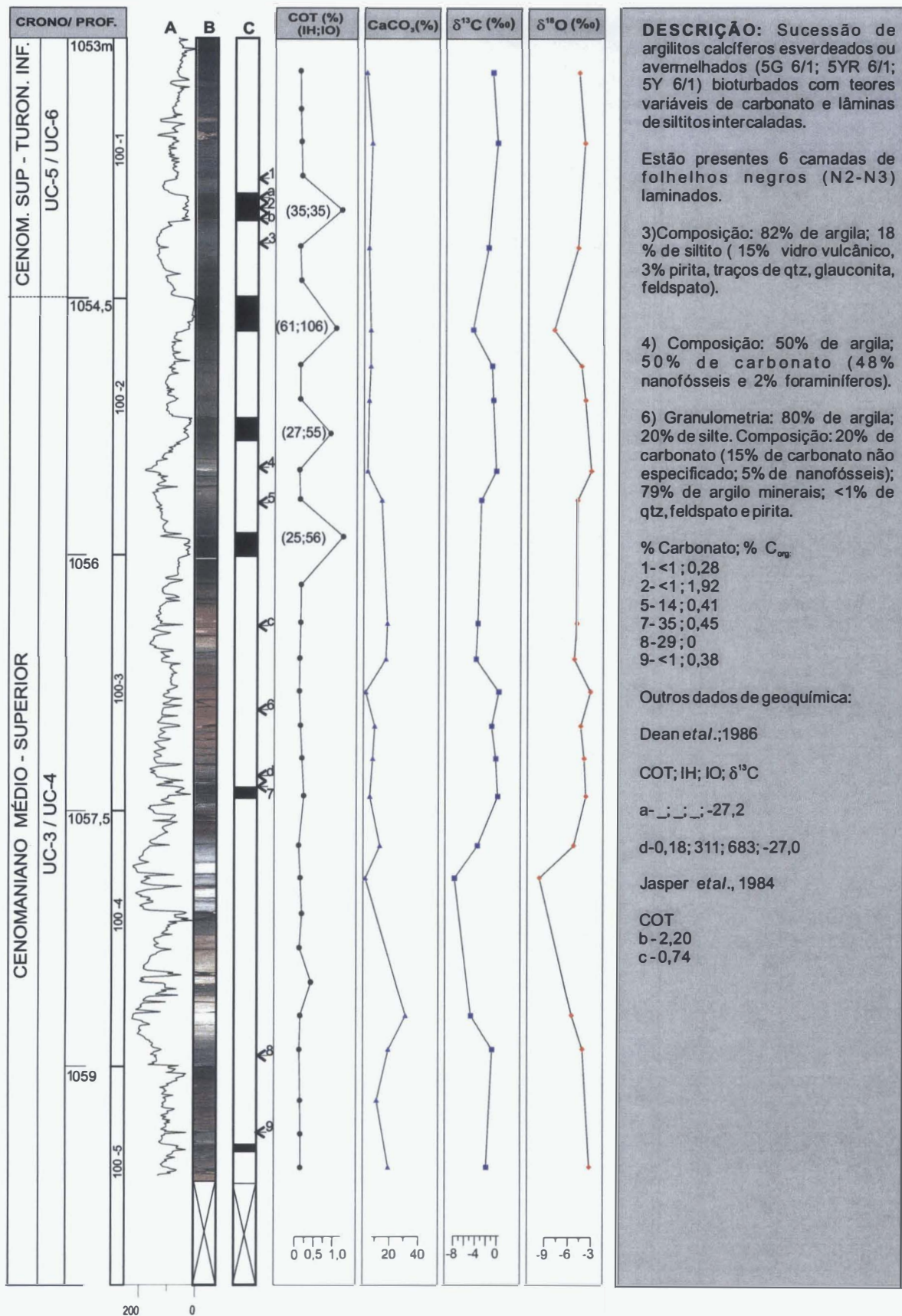


Figura 10.5 - Perfil do índice colorimétrico (A), foto (B), posição dos folhelhos negros (C) e resultados das análises geoquímicas do testemunho #100 do poço DSDP-530A.

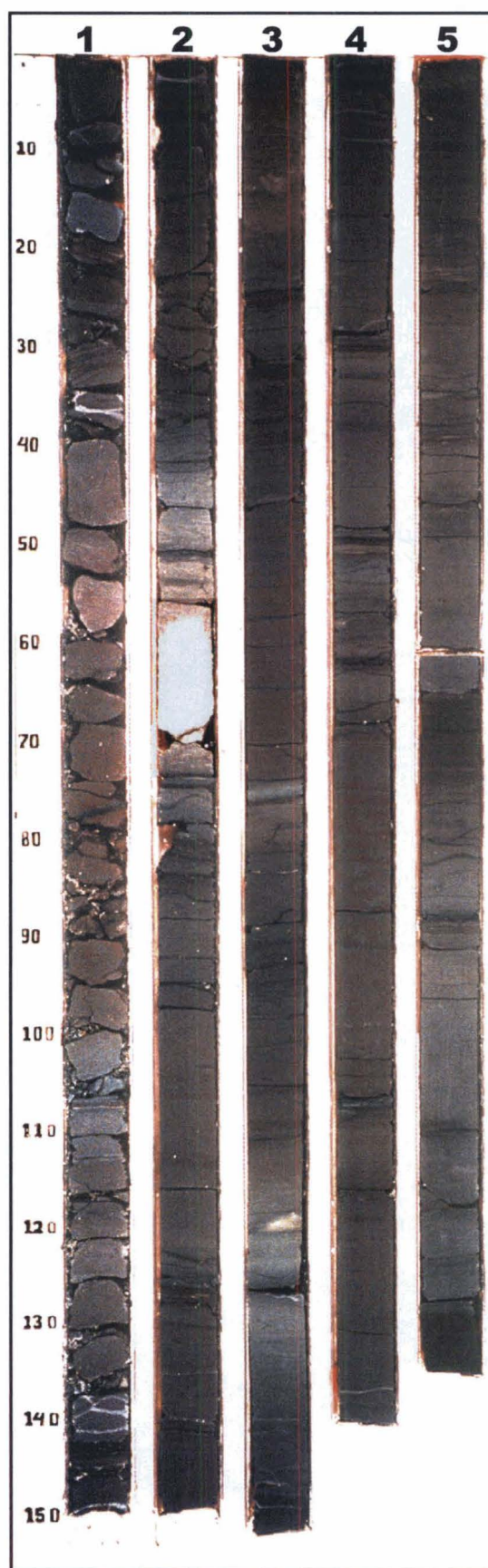


Foto 10.3 - Testemunho #99 do poço DSDP-530A.



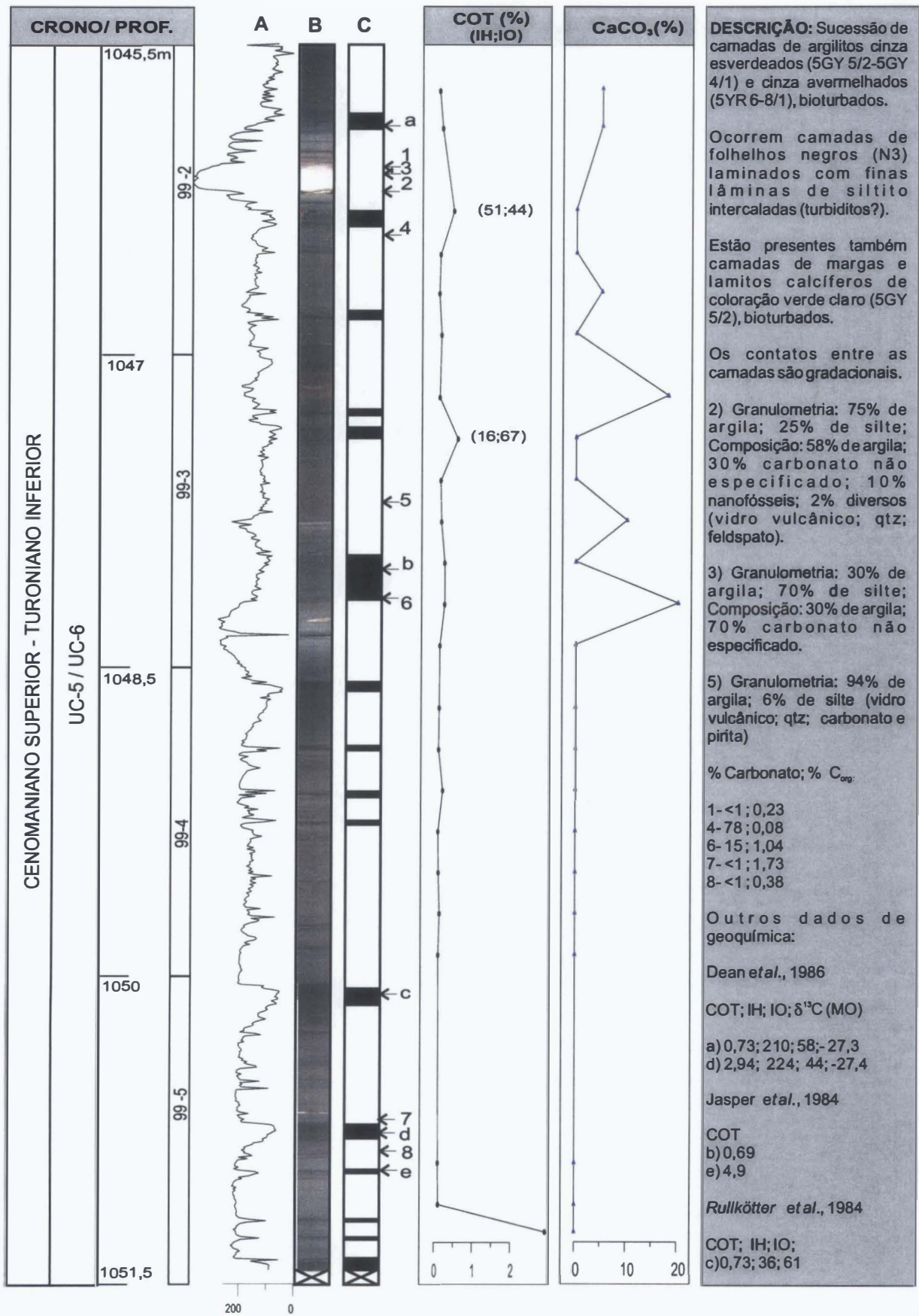


Figura 10.6 - Perfil do índice colorimétrico (A), foto (B), posição dos folhelhos negros (C) e resultados das análises geoquímicas do testemunho #99 do poço DSDP-530A.

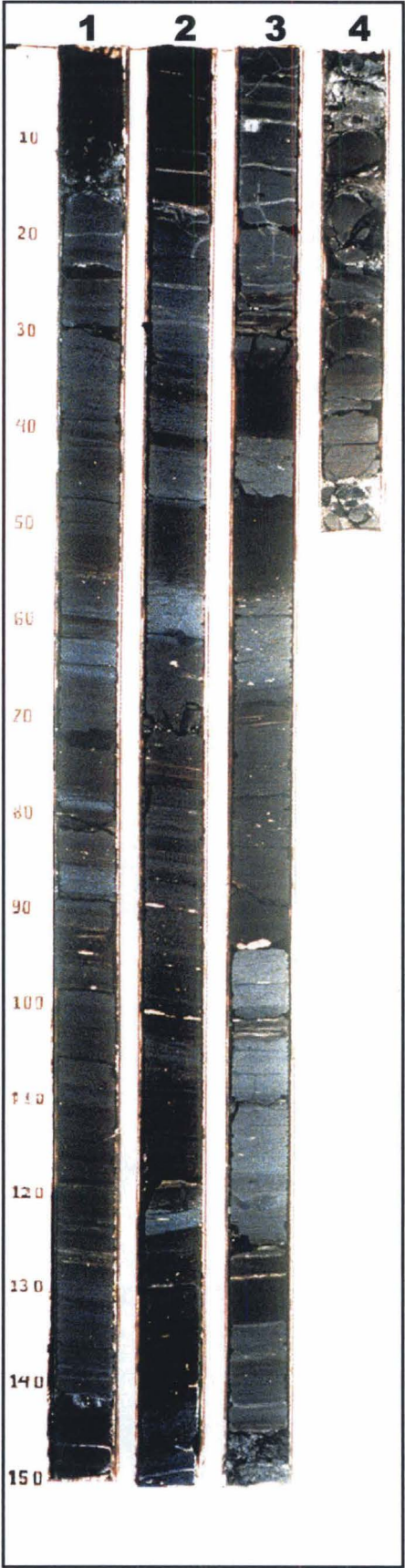


Foto 10.4 - Testemunho #98 do poço DSDP-530A.



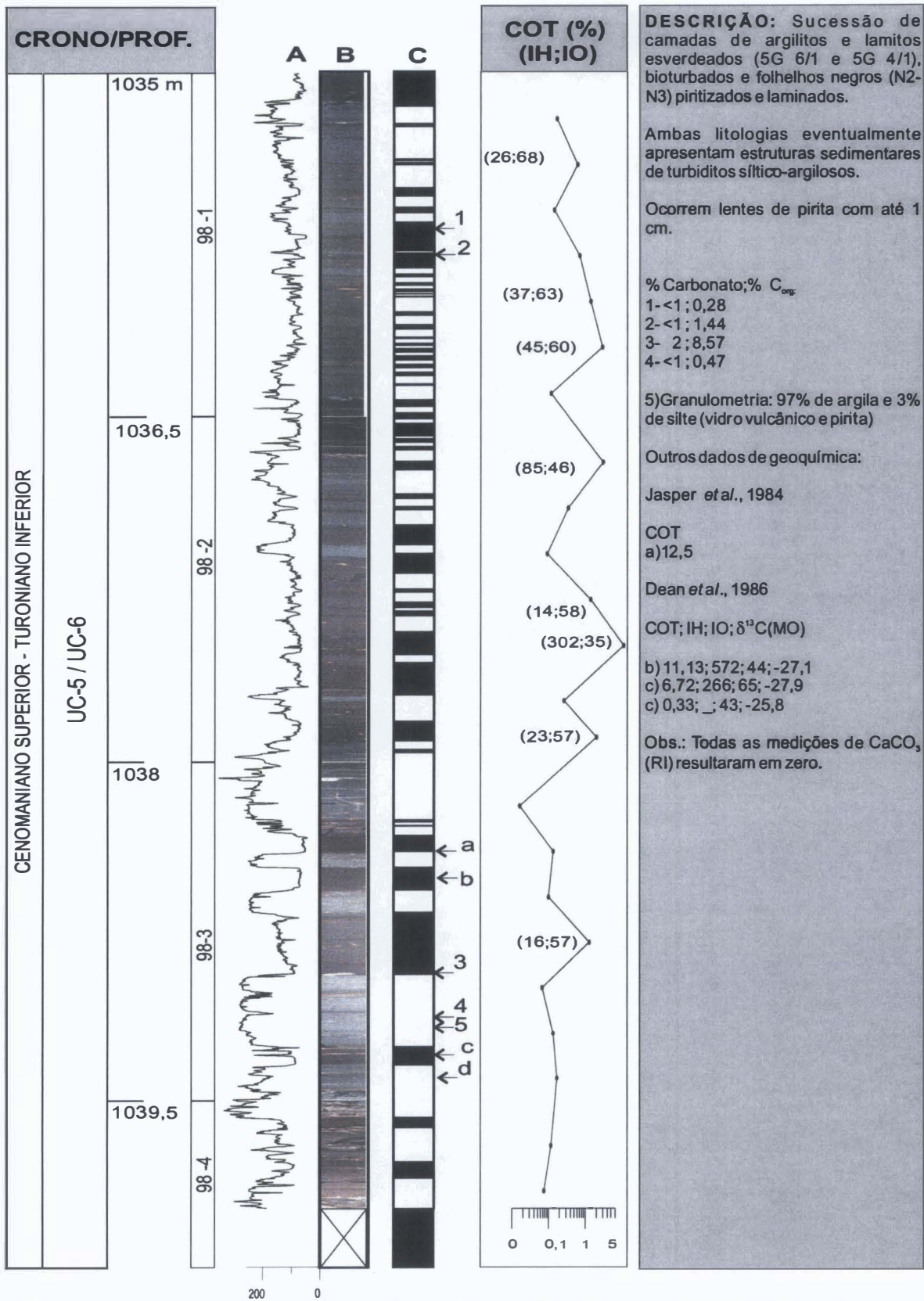


Figura 10.7 - Perfil do índice colorimétrico (A), foto (B), posição dos folhelhos negros (C) e resultados das análises geoquímicas do testemunho #98 do poço DSDP-530A.

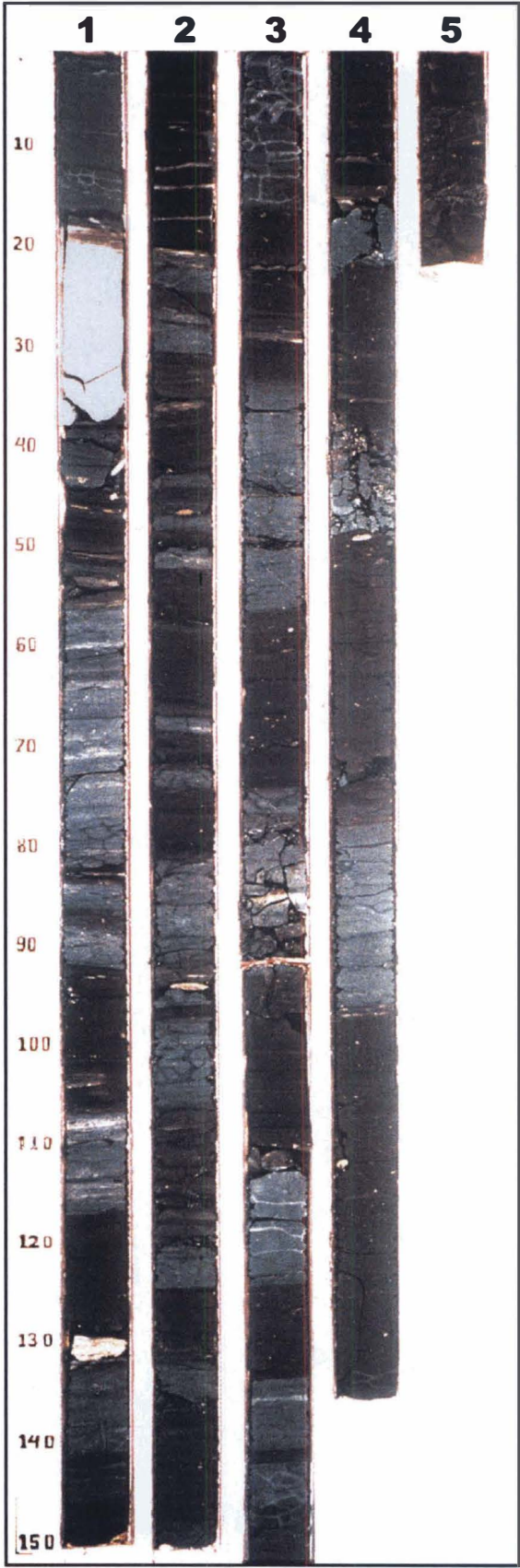


Foto 10.5 - Testemunho #97 do poço DSDP-530A.

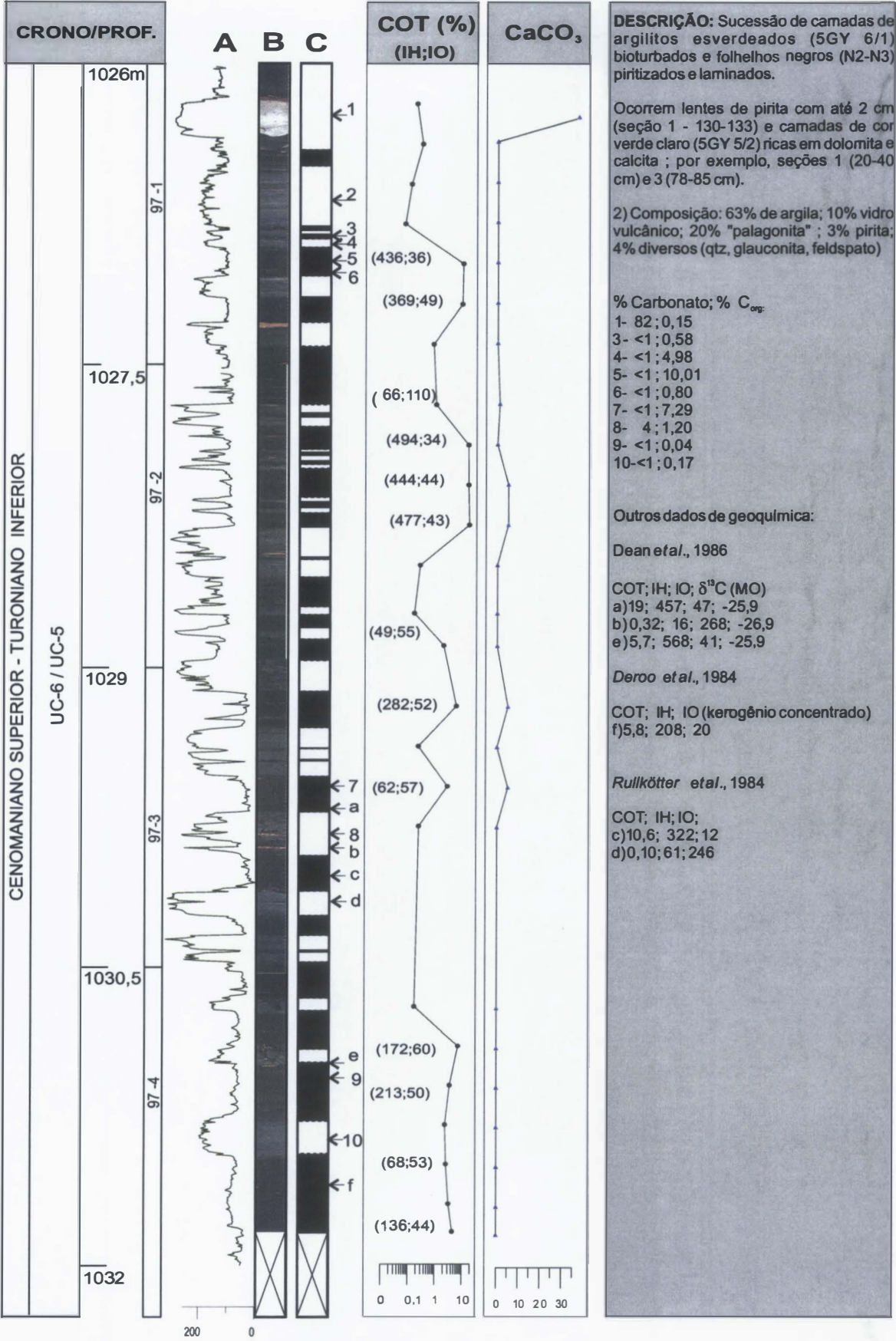


Figura 10.8 - Perfil do índice colorimétrico (A), foto (B), posição dos folhelhos negros (C) e resultados das análises geoquímicas do testemunho #97 do poço DSDP-530A.



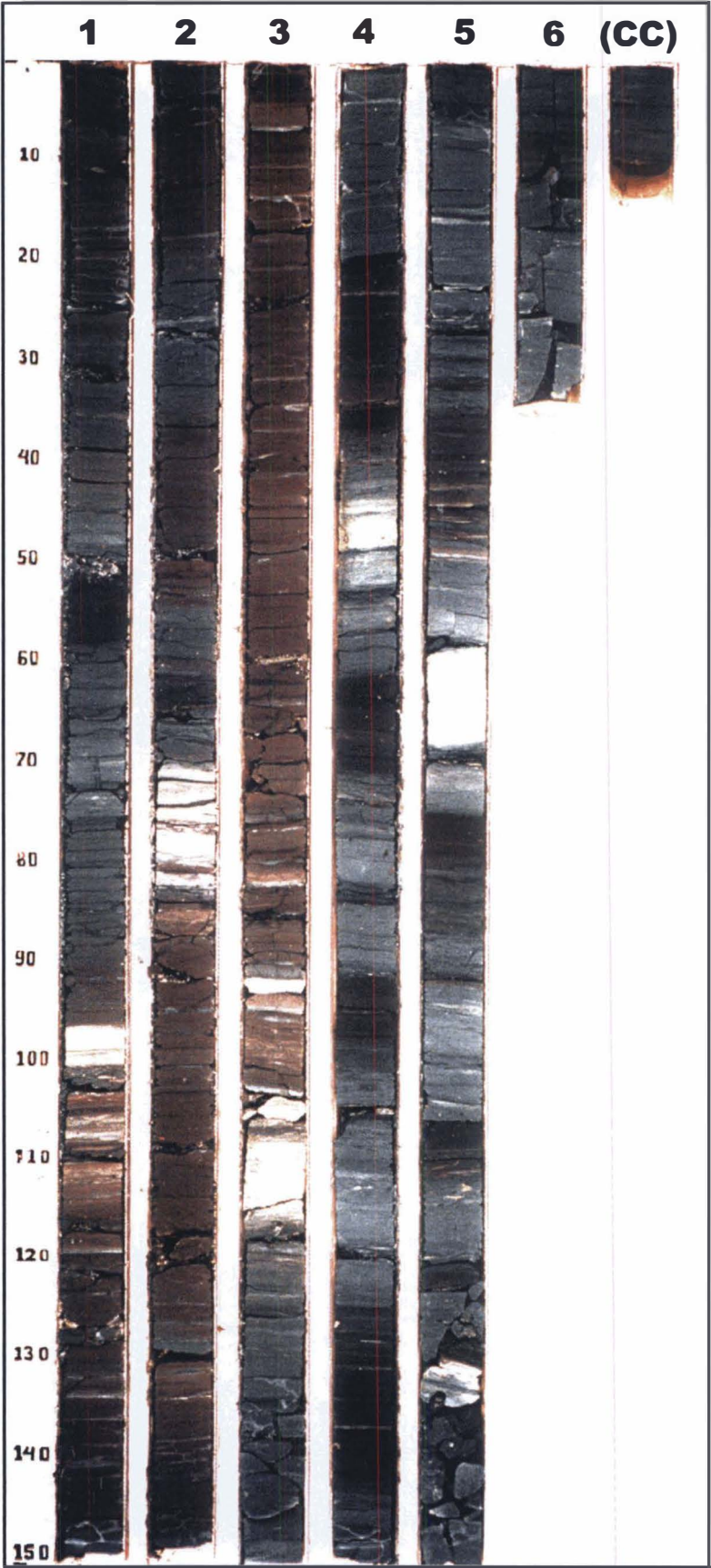


Foto 10.6 - Testemunho #96 do poço DSDP-530A.

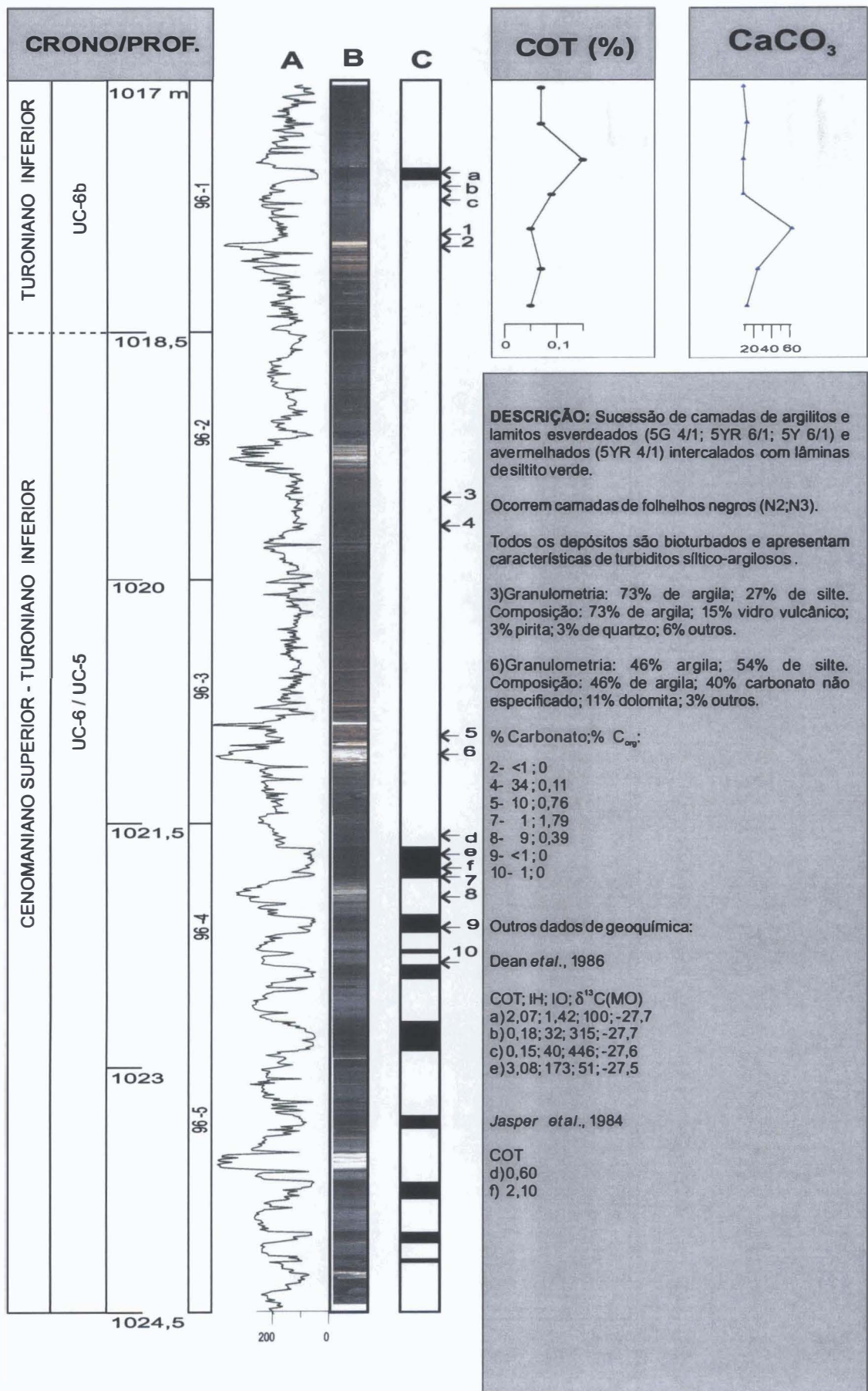


Figura 10.9 - Perfil do índice colorimétrico (A), foto (B), posição dos folhelhos negros (C) e resultados das análises geoquímicas do testemunho #96 do poço DSDP-530A.

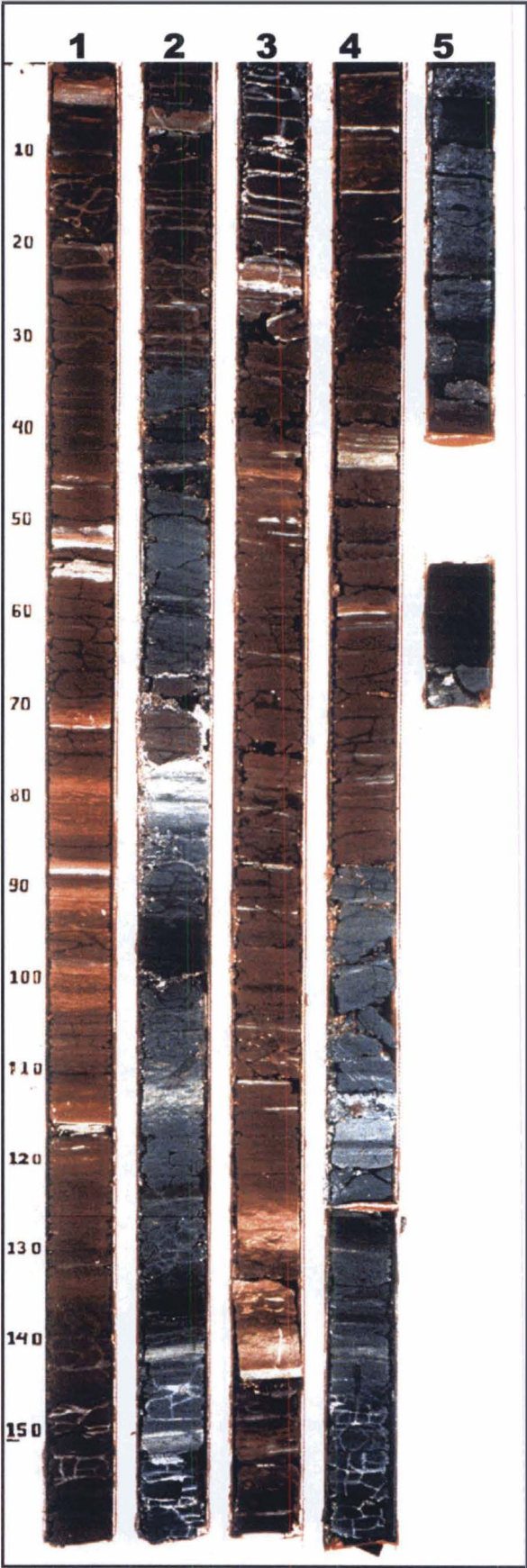


Foto 10.7 - Testemunho #95 do poço DSDP-530A.



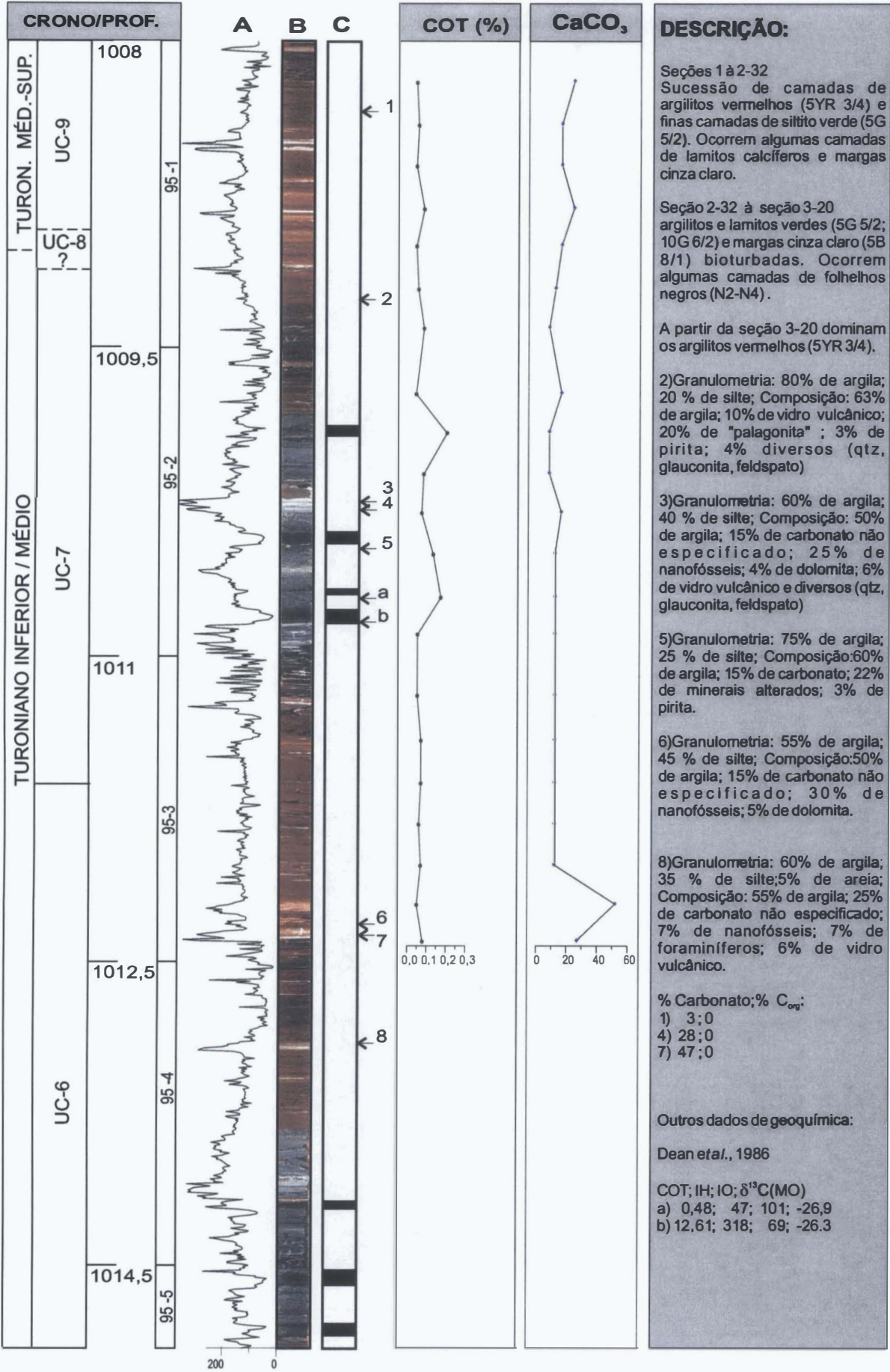


Figura 10.10 - Perfil do índice colorimétrico (A), foto (B), posição dos folhelhos negros (C) e resultados das análises geoquímicas do testemunho #95 do poço DSDP-530A.

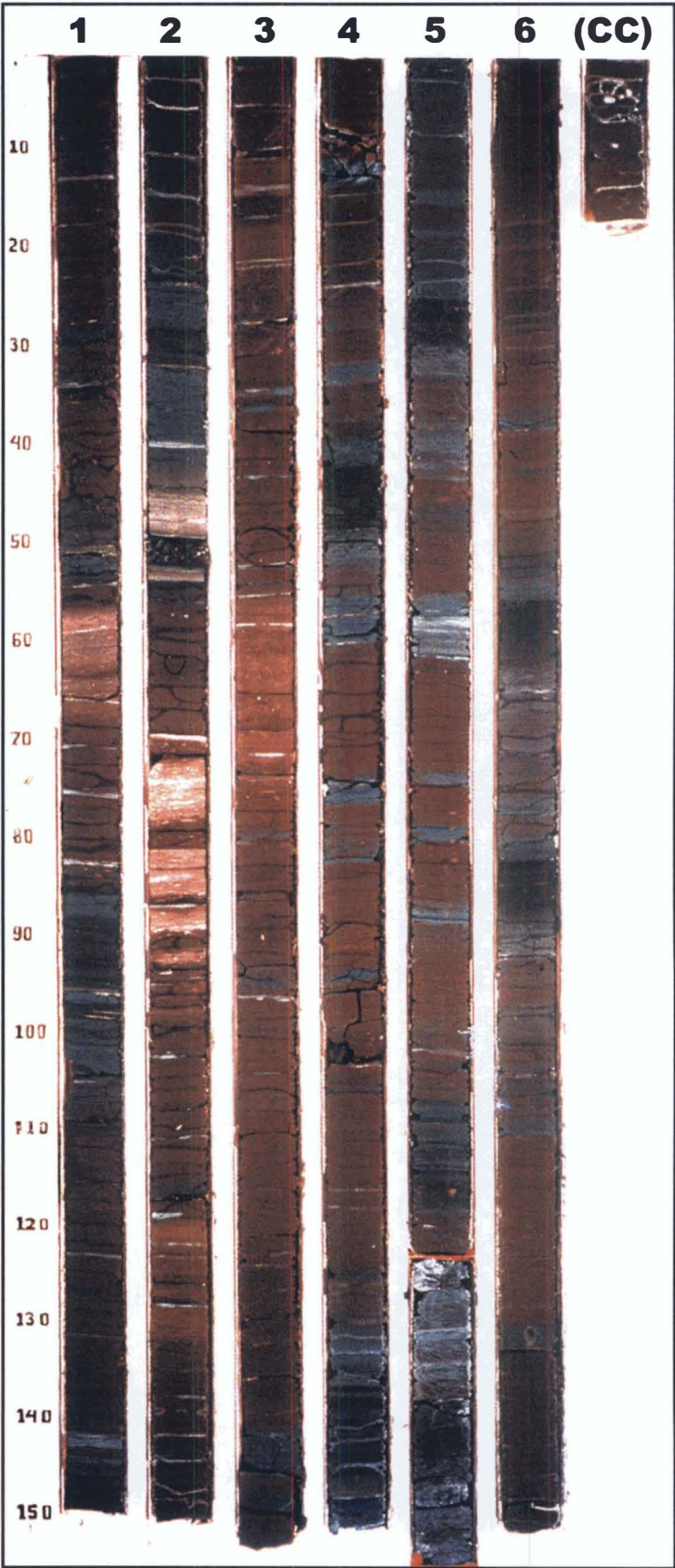
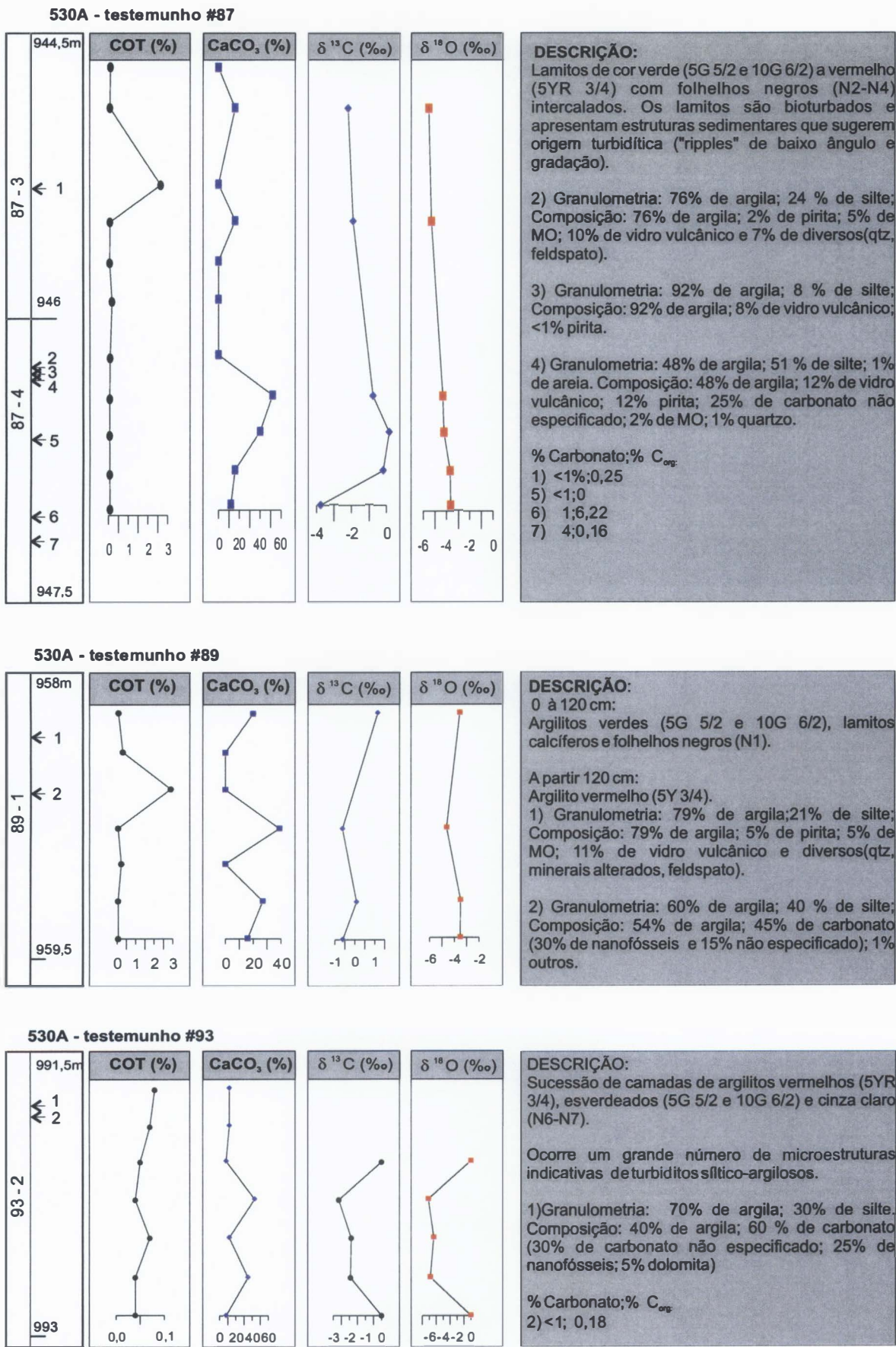


Foto 10.8 - Testemunho #93 do poço DSDP-530A.





## 10.2 BIOESTRATIGRAFIA

Em todas as seções dos testemunhos #97 até #102 foram realizadas análises quantitativas de nanofósseis, em amostras coletadas a cada 20 cm. Entretanto, nos testemunhos #89, #93, #95 e #96 somente algumas das seções foram estudadas (Anexo 7). O índice de Shannon-Weaver não foi calculado devido ao grande número de amostras estéreis ou com diversidade muito reduzida. As curvas relativas à análise quantidades de *W. barnesae* e do número de espécimes por campo foram traçadas somente para o testemunho #102, nos demais testemunhos estas curvas são pouco úteis em virtude do grande número de amostras estéreis.

O intervalo correspondente aos testemunhos #100, #101 e #102 é de difícil datação. A partir dos resultados obtidos neste trabalho e os publicados em Stradner & Steinmetz (1984), pode-se afirmar que a maior parte deste intervalo está posicionada acima do surgimento de *Eiffellithus turriseiffelli*, que é um evento do Albiano Superior, e abaixo da última ocorrência de *Axopodorhabdus albianus*, espécie-guia do topo da Subzona UC-5a. Mesmo assim a posição estratigráfica deste evento neste poço é questionável, pois o intervalo sotoposto é quase inteiramente estéril e sem espécies diagnósticas. Utilizando a última ocorrência de *Braarudosphaera africana* e as primeiras ocorrências de *Helicolithus anceps* e *Gartnerago obliquum* inferiu-se um biorizonte que supostamente separa as biozonas UC-0/UC-2 das UC-3/UC-4. Segundo Burnett (1998), as primeiras ocorrências de *Helicolithus anceps* e *G. obliquum* estão posicionadas na biozona UC-2/UC-1, enquanto que a última ocorrência de *B. africana* posiciona-se na Biozona UC-4. Estes eventos são pouco utilizados em estudos bioestratigráficos e o seu significado cronoestratigráfico é ainda bastante questionável. Cabe ainda ressaltar que Stradner & Steinmetz (1984) reconheceram a primeira ocorrência de *Litraphidites acutum* e *G. obliquum* no testemunho #100, seção 2 (Fig. 10.12). Para Burnett (1998) a última ocorrência da espécie *L. acutum* assinala a base da Biozona UC-5. Esta espécie não foi identificada no presente estudo, mas a base da Biozona UC-5, estimada pela última ocorrência de *A. albianus*, foi posicionada um pouco acima da profundidade na qual Stradner & Steinmetz (1984) assinalaram a primeira ocorrência de *L. acutum*.

Devido à amostragem descontínua nos testemunhos #89, #93, #95 e #96 não foi possível determinar a profundidade exata da primeira ocorrência de *Marthasterites furcatus* e

*Micula decussata* (topo da Zona UC-9). É possível que estes eventos estejam em uma seção não analisada, logo abaixo da profundidade na qual foram reconhecidos (Fig. 10.12).

Os dados e interpretações bioestratigráficas apresentados neste estudo discordam parcialmente daqueles de Stradner & Steinmetz (1984; Fig. 10.12). Segundo estes autores a primeira ocorrência da espécie *Quadrum gartneri* está acima da última ocorrência de *Eprolithus eptapetalus*, e ambos biorizontes estão acima da primeira ocorrência de *Eiffellithus eximius* e *M. furcatus*, posicionadas em um mesmo nível estratigráfico. Os resultados do presente estudo apontam para uma sucessão de primeiras ocorrências das espécies *E. eptapetalus*, *Q. gartneri*, *E. eximius* e *Lithastrinus moratus* coerente com o zoneamento adotado (Fig. 10.12). Todavia, a proximidade dos biorizontes assinalados pelo surgimento da espécie *L. moratus* (topo da Zona UC-8) e de *E. eximius* (topo da Zona UC-7), sugere a ausência ou condensação da Zona UC-8. Processos de remobilização causados por correntes de turbidez não podem ser descartados; contudo, nas amostras onde foram assinalados as primeiras ocorrências destas espécies, a preservação, e a abundância dos nanofósseis e as descrições faciológicas sugerem margas pelágicas ao invés de depósitos turbidíticos.

As interpretações cronoestratigráficas para os intervalos Turoniano e Coniaciano dos dois trabalhos também diferem. Segundo Stradner & Steinmetz (1984), a base do Turoniano médio encontra-se posicionada diretamente sobre a seção albo-cenomaniana, junto ao surgimento de *Liliasterites angularis*. Considerada neste trabalho como sinonímia de *M. furcatus* (ver sub-capítulo 7.3). Estes autores consideram o limite superior do Turoniano médio como discordante e subjacente ao Santoniano, sendo esta discordância assinalada pela ocorrência conjunta de *E. eximius* e *M. furcatus*. Acredita-se na existência do Turoniano superior e posiciona-se o topo deste andar logo abaixo da última ocorrência de *E. eptapetalus* (Fig. 10.12).

### 10.3 CICLOESTRATIGRAFIA

A análise cicloestratigráfica deste poço restringiu-se aos testemunhos #96 (seções 4 e 5), #97, #98, #99 (seções 2, 3, 4 e 5) e #100 (seções 1 e 2). Nestes testemunhos a

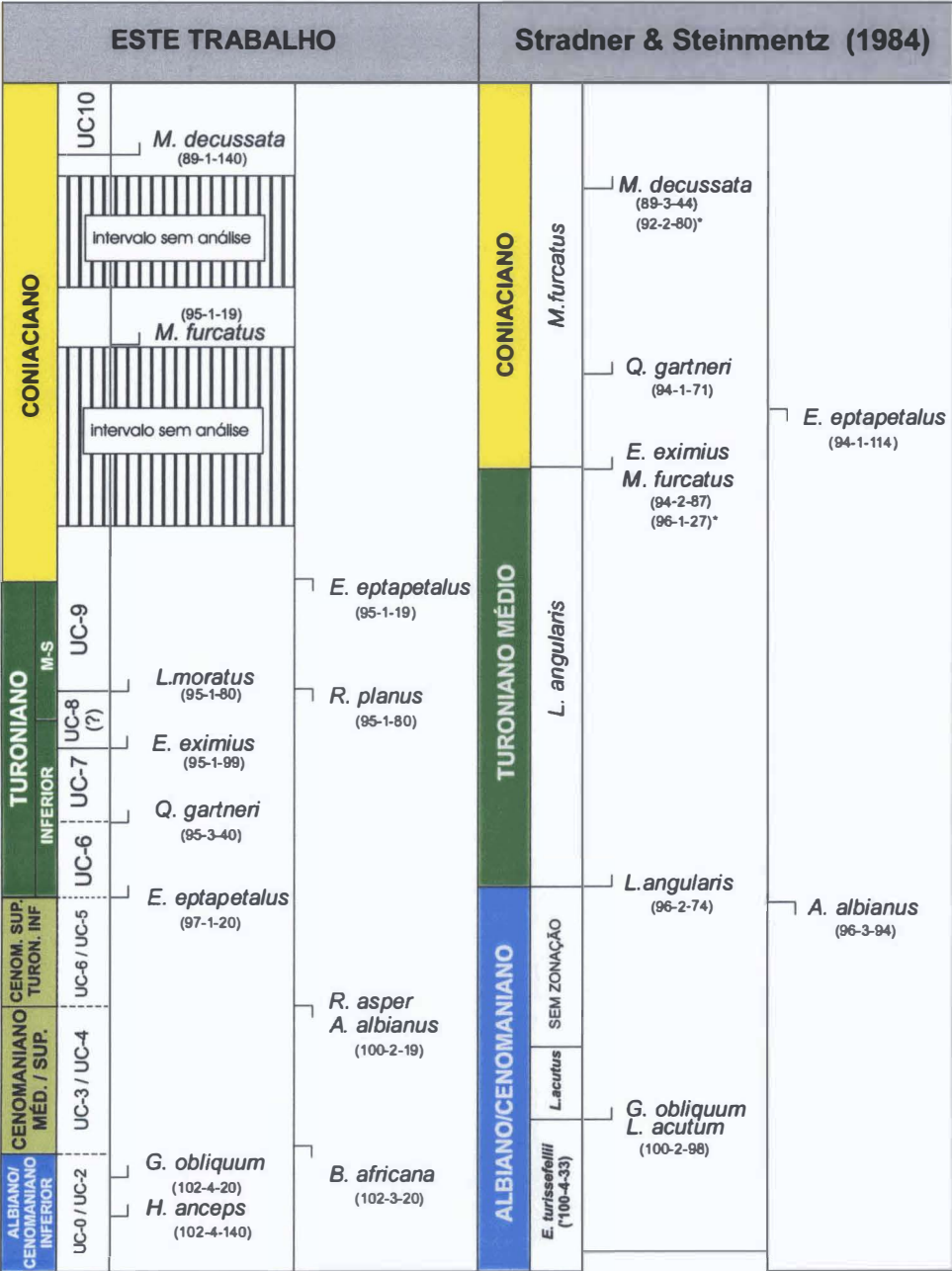


Figura 10.12 - Comparação entre os zoneamentos bioestratigráficos e as interpretações cronoestratigráficas deste trabalho com as propostas por Stradner & Steinmentz (1984). As ocorrências isoladas de *M. decussata* e *E. eximius* estão assinaladas com asteriscos; porém, estas ocorrências não foram consideradas como a primeira ocorrência efetiva do fóssil.



variação do índice colorimétrico, utilizado na análise espectral, possui uma relação evidente e direta com as camadas com COT elevado. Nos demais testemunhos as diversas camadas escuras de argilito verde ou vermelho, intercaladas com folhelhos negros, de ocorrência muito irregular, tornaram o estudo cicloestratigráfico impraticável pelo método adotado.

Os periodogramas relativos ao testemunho #100 e #99 assinalam claramente um valor espectral elevado para os ciclos de comprimento de onda ( $\lambda$ ) de 74,9 e 69,7 cm, respectivamente (Fig. 10.13). No testemunho #100 observa-se uma distribuição regular dos folhelhos negros nas seções 1 e 2, segundo 4 ciclos de espessura de 60-70 cm, portanto compatíveis com o periodograma. No testemunho #99, a distribuição dos folhelhos negros é menos regular; mesmo assim é possível visualizar de 9 a 10 ciclos com espessura variando de 50-70 cm. Considerando-se que somente os ciclos principais assinalados nos periodogramas referentes aos testemunhos #100 e #99 possuem uma relação direta com um dos ciclos orbitais, teríamos taxas de acumulação variando entre 0,17-3,94 cm/ka, o que significa dizer que a seção correspondente ao testemunho #100 poderia ter sido depositado em um intervalo de tempo entre 1,6 e 0,76 Ma (Tab. 10.1) e o testemunho #99 em um intervalo entre 3,41 a 0,16 Ma (Tab. 10.2).

| Ciclo Orbital                 | Taxa de acumulação (cm /ka) | Tempo (Ma) |
|-------------------------------|-----------------------------|------------|
| Excentricidade longa (410 ka) | 0,18                        | 1,60       |
| Excentricidade curta (100 ka) | 0,75                        | 0,40       |
| Obliquidade (41 ka)           | 1,82                        | 0,16       |
| Precessão (23 ka)             | 3,26                        | 0,92       |
| Precessão (19 ka)             | 3,94                        | 0,76       |

Tabela 10.1 – Estimativa do tempo de duração e da taxas de acumulação do testemunho #100 (seções 1 e 2) assumindo que o ciclo de comprimento de onda de 74,9 cm refere-se a um dos ciclos de Milankovitch (ver figura 10.13).

| Ciclo Orbital                 | Taxa de acumulação (cm /ka) | Tempo (Ma)   |
|-------------------------------|-----------------------------|--------------|
| Excentricidade longa (410 ka) | 0,17                        | 3,41 - 3,7*  |
| Excentricidade curta (100 ka) | 0,70                        | 0,83 - 0,9*  |
| Obliquidade (41 ka)           | 1,70                        | 0,34 - 0,37* |
| Precessão (23 ka)             | 3,03                        | 0,19 - 0,20* |
| Precessão (19 ka)             | 3,66                        | 0,16 - 0,17* |

Tabela 10.2 – Estimativa do tempo de duração e das taxas de acumulação do testemunho #99 (seções 2, 3, 4 e 5) assumindo-se que o ciclo de comprimento de onda de 69,7 cm refere-se a um dos ciclos de Milankovitch (Figura 10.13). O valor a direita na última coluna, assinalado com asterisco, resulta da contagem de 9 ciclos ao invés do cálculo feito a partir dos resultados da análise espectral.

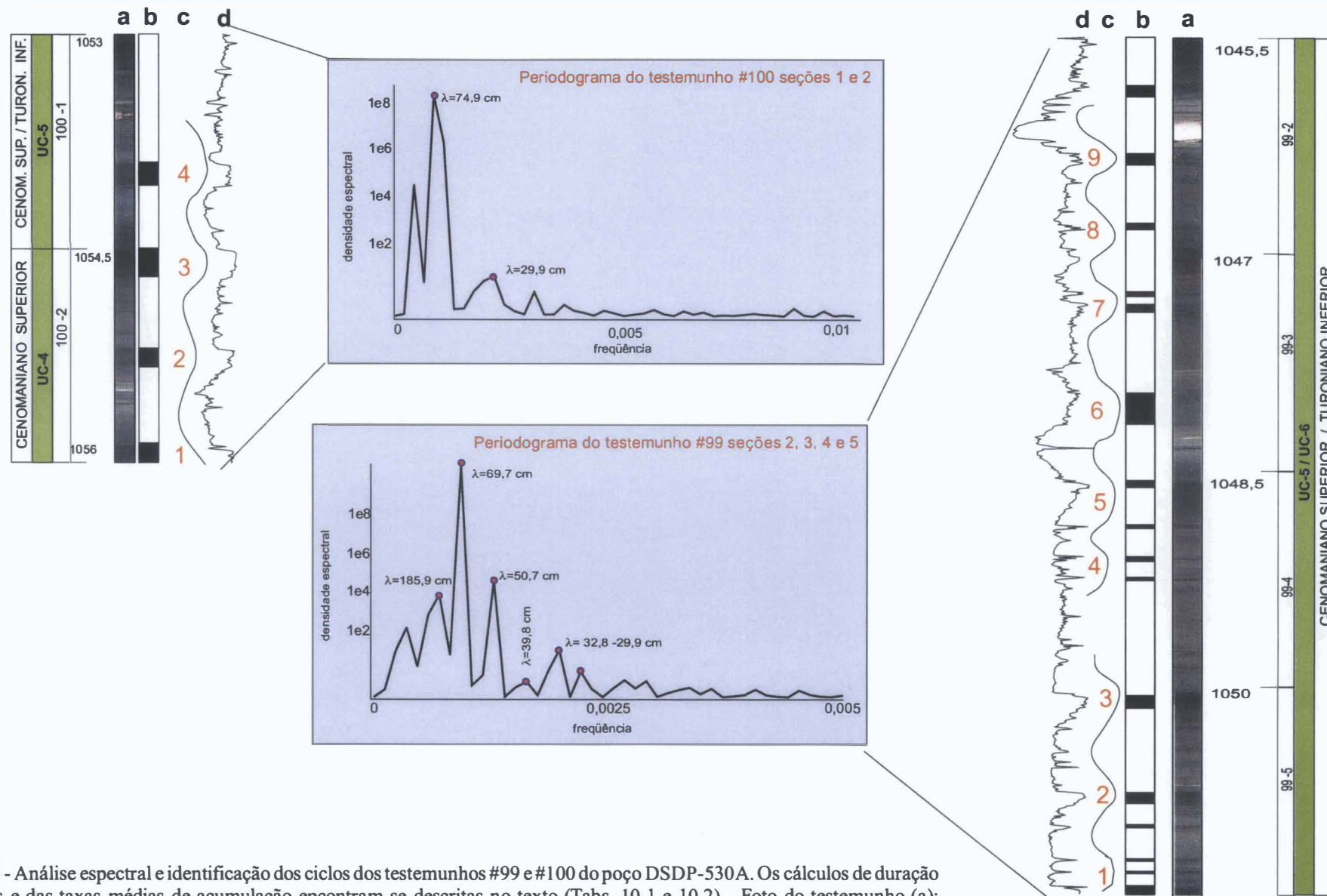


Figura 10.13 - Análise espectral e identificação dos ciclos dos testemunhos #99 e #100 do poço DSDP-530A. Os cálculos de duração dos períodos e das taxas médias de acumulação encontram-se descritas no texto (Tabs. 10.1 e 10.2). Foto do testemunho (a); folhelhos negros (b); ciclos reconhecidos (c); índice colorimétrico (d).

Fazendo uma análise preliminar com base nos dados bioestratigráficos e nas taxas de acumulação, poderíamos desconsiderar a possibilidade destes ciclos estarem relacionados com a excentricidade longa. Aplicando a técnica de similaridade de matrizes, os resultados do periodograma do testemunho #99 permitem duas soluções expressas na tabela 10.3. No caso do testemunho #100, assumindo que o ciclo de  $\lambda=74,9$  representa o ciclo de excentricidade curta e o ciclo de  $\lambda=29,9$  o de obliquidade, obteríamos as taxas de acumulação e a duração temporal ilustradas na tabela 10.3.

| Testemunho #99 |            |              |
|----------------|------------|--------------|
| Solução 1      |            |              |
| CICLO (cm)     | CICLO (ka) | TAXA (cm/ka) |
| 185,9          | 100        | 1,86         |
| 69,7           | 41         | 1,70         |
| 39,8           | 23         | 1,73         |
| 32,8           | 19         | 1,73         |
| Solução 2      |            |              |
| 69,7           | 100        | 0,70         |
| 29,9           | 41         | 0,73         |

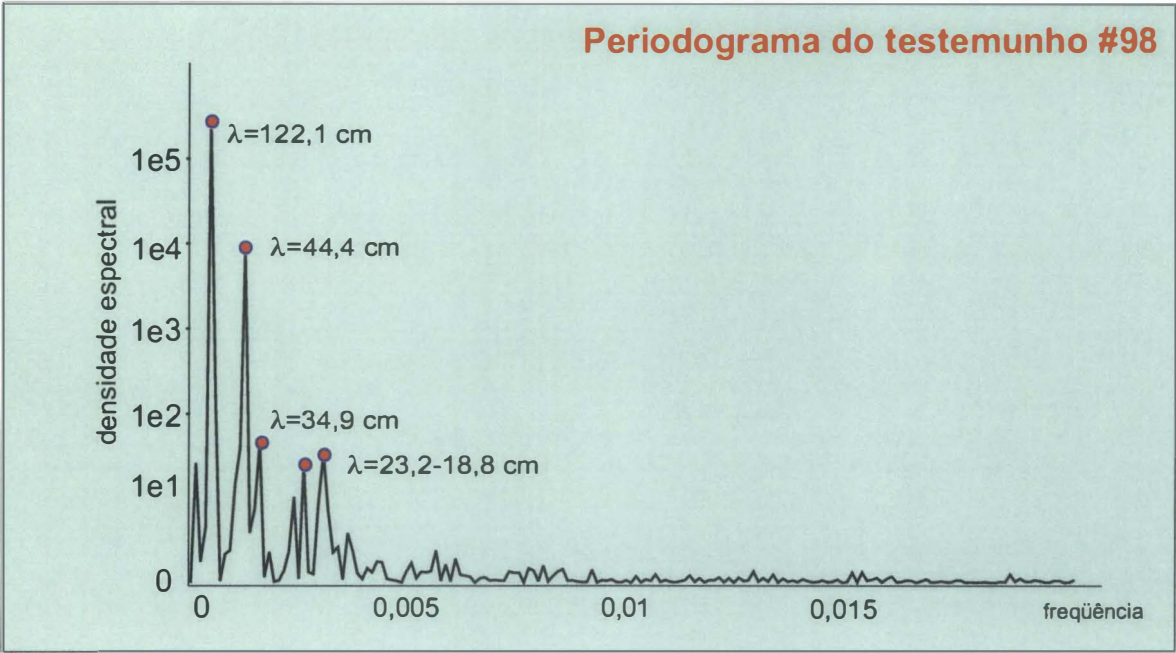
| Testemunho #100 |            |              |
|-----------------|------------|--------------|
| CICLO (cm)      | CICLO (ka) | TAXA (cm/ka) |
| 74,9            | 100        | 0,75         |
| 29,9            | 41         | 0,71         |

Tabela 10.3 – Resultados obtidos aplicando-se a técnica de similaridade de matrizes nas frequências destacadas nos periodogramas referentes aos testemunhos #99 e #100 (Fig. 10.13).

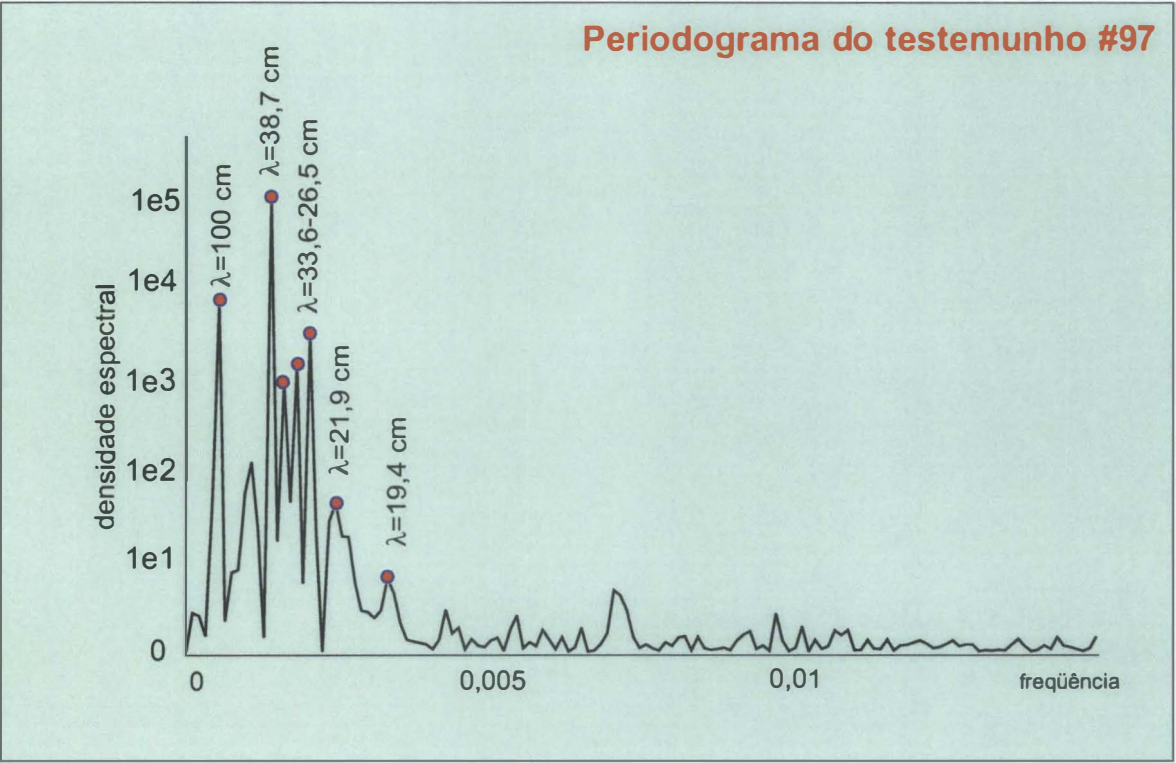
Os periodogramas referentes aos testemunhos #98 e #97 possuem em comum alto valor espectral para três faixas de frequências, relacionado aos ciclos de comprimento de onda em torno de 100-122 cm, 35-45 cm e 18-25 cm (Fig. 10.14).

Os ciclos em destaque nestes testemunhos podem ser associados aos principais ciclos de Milankovitch. No testemunho #98, se associarmos o ciclo de  $\lambda=122,1$  cm, com a excentricidade curta teríamos uma taxa de 1,22 cm/ka. O segundo ciclo em destaque é o de  $\lambda=44,4$  cm, e se fosse associado à obliquidade resultaria em uma taxa de 1,08 cm/ka. Já os ciclos de 23 ka e 19 ka, estariam relacionados aos ciclos  $\lambda=23,2$  e  $\lambda=18,8$  com taxas de acumulação de 1,01 e 0,99 cm/ka, respectivamente (Fig. 10.14a).

Na análise espectral do testemunho #97 observa-se um alto valor espectral para a frequência correspondente ao comprimento de onda ( $\lambda$ ) de 100 cm, seguida de uma faixa de valores espectrais elevados para as frequências relativas aos ciclos de  $\lambda=38,7$  cm e  $\lambda=26,5$ -



(a)



(b)

Figura 10.14 - Periodogramas da análise espectral dos testemunhos #98 e #97 do poço DSDP-530A.

33,6 cm. Uma terceira banda de frequência relaciona-se aos ciclos com  $\lambda$  em torno de 21,9 cm e 19,4 cm. Os ciclos de 100; 38,7; 21,9; e 19,4 cm de comprimento de onda são correlacionáveis com os ciclos de excentricidade (100 ka), obliquidade (41 ka) e precessão (23 e 19 ka), com taxas de acumulação em torno de 1 cm/ka; porém, a visualização destes ciclos no testemunho é bastante difícil. Tal fato deve-se, provavelmente, à existência de um grande número de padrões de ciclicidade, caracterizados por ciclos com comprimentos de ondas muito similares e superpostos. No periodograma do testemunho #97, isto é demonstrado pelo crescimento progressivo da variância das frequências entre 0,001 e 0,003, correspondentes aos ciclos com comprimento de onda em torno de 20-40 cm (Fig. 10.14b). Este comportamento, também visível em outros testemunhos, ainda que menos nitidamente, pode ser interpretado como produto da interferência de ciclos aperiódicos associados aos turbiditos. Turbiditos síltico-argilosos, ocorrendo com frequência desde 8 a 20 ka foram descritos neste poço (Stow, 1984) e são reconhecidos em vários poços do DSDP perfurados na costa da África ao Sul da elevação de Walvis (Dean *et al.*, 1978).

O testemunho #96 apresenta um padrão de ciclicidade um pouco diferente dos testemunhos #98 e #97. O comprimento de onda do principal ciclo é de 41,3 cm (Fig. 10.15). As outras três frequências que correspondem aos ciclos de  $\lambda=144,8$ , 32,2 e 26,3 cm também possuem valor espectral elevado. Considerando-se estes ciclos como relativos à excentricidade, obliquidade e precessão, os cálculos de similaridade entre o comprimento de onda destes ciclos e a matriz da periodicidade dos ciclos de Milankovitch apontam para taxas de acumulação em torno de 1,4 cm/ka, sendo o valor correspondente ao ciclo de obliquidade o mais discrepante (Tab. 10.4).

| CICLO (cm) | CICLO (ka) | TAXA (cm/ka) |
|------------|------------|--------------|
| 144,8      | 100        | 1,45         |
| 41,3       | 41         | 1,00         |
| 32,2       | 23         | 1,39         |
| 26,3       | 19         | 1,38         |

Tabela 10.4 – Taxas de acumulação referentes aos ciclos evidenciados no periodograma do testemunho #96 (Fig. 10.15).

O ciclo mais longo tem comprimento de onda igual à metade da espessura do intervalo analisado, sendo similar ao tamanho das seções que compõem os testemunhos (1,5 m) e por isto, talvez, não tenha significado geológico. Descartando este ciclo, e assumindo que



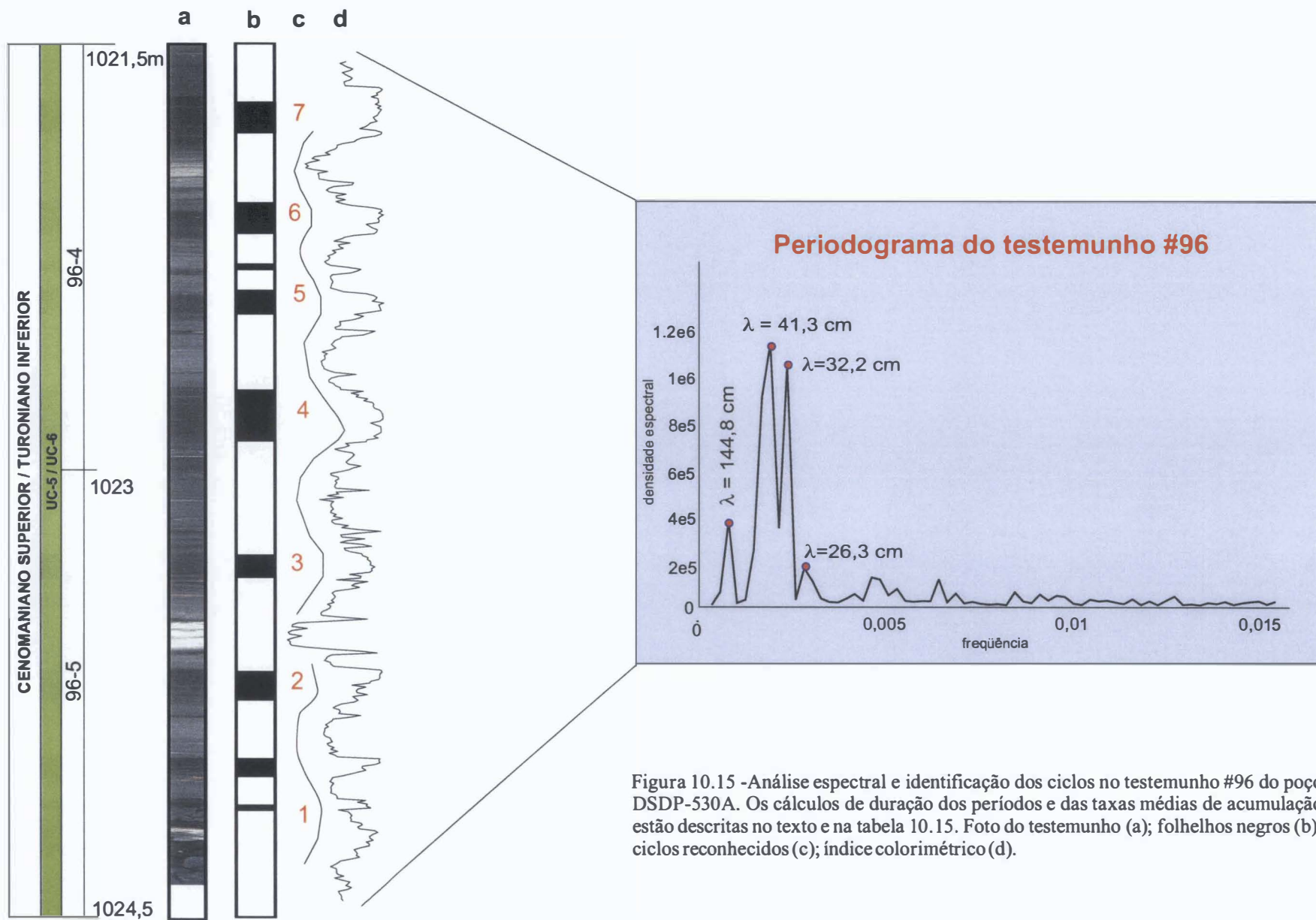


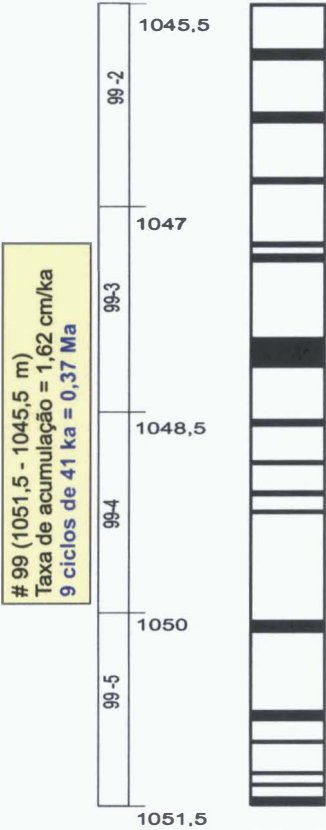
Figura 10.15 -Análise espectral e identificação dos ciclos no testemunho #96 do poço DSDP-530A. Os cálculos de duração dos períodos e das taxas médias de acumulação estão descritas no texto e na tabela 10.15. Foto do testemunho (a); folhelhos negros (b); ciclos reconhecidos (c); índice colorimétrico (d).

os ciclos de comprimento de onda de 41,3-32,2 cm, facilmente visualizados no testemunho, são associados à obliquidade, obtém-se taxas de acumulação em torno de 1 cm/ka. Neste caso o ciclo de  $\lambda=26,2$  cm pode ser interpretado como um ciclo de duração de 23 ka, segundo uma taxa de acumulação de 1,14 cm/ka. Se retornarmos a análise de ciclicidade dos testemunhos #99 e #100, e assumirmos que o ciclo principal nestes testemunhos é o de obliquidade, conclui-se que existe uma redução nas taxas de acumulação de 1,5 cm/ka para 1 cm/ka, sendo que os menores valores correspondem ao intervalo composto pelos testemunhos #98, #97 e #96. A redução da taxa de acumulação neste intervalo é coerente com o aumento do número de camadas mais ricas em MO registradas nos testemunhos #98 e #97. Admitindo-se uma origem pelágica para estes depósitos, como será discutido a seguir, torna-se ainda mais coerente que este intervalo mais rico em MO tenha sido depositados segundo uma taxa de acumulação reduzida em relação àqueles com maior número de turbiditos.

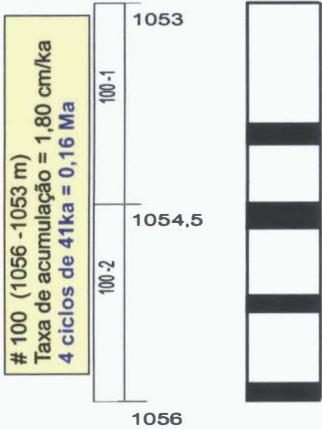
De acordo com os dados bioestratigráficos, o intervalo analisado para ciclicidade está posicionado entre a Biozona UC-4 e a base da Subzona UC-6b. Conforme os valores absolutos adotados para a amplitude temporal das zonas, acredita-se que este intervalo tenha uma duração superior a 3 Ma. Os cálculos de duração deste intervalo baseados na análise cicloestratigráfica indicam que o pacote sedimentar entre o testemunho #100 (seção 2) e o testemunho #96 (seção 4) foi depositado em cerca de 2,6 Ma (Fig. 10.16). Extrapolando-se as taxas de acumulação referentes aos testemunhos #96, #97 e #98, estima-se que a seção compreendida entre o topo da seção 4 do testemunho #96 e o topo da Biozona UC-6 (testemunho #95-3-60), represente adicionalmente mais 1 Ma. O que significa dizer que os resultados da análise espectral sugerem que o intervalo composto pelas biozonas UC-4, UC-5 e UC-6 foi depositado em cerca de 3,7 Ma, sendo, portanto, compatível com as inferências geocronológicas atribuída a estas biozonas.

De maneira conclusiva, atribuímos aos testemunhos #100 e #99 taxas de acumulação mais elevadas (1,8-1,6 cm/ka) em relação aos testemunhos #97, #98 e #96 (1,0 cm/ka). Descarta-se a possibilidade das taxas de acumulação dos testemunhos #100 e #99 serem inferiores à dos testemunhos #98 e #96. Portanto interpreta-se que os principais ciclos reconhecidos nestes testemunhos referem-se à obliquidade e não à excentricidade. Os principais depósitos ricos em MO reconhecidos nos testemunhos #97 e #98 foram depositados em cerca de 1,4 Ma.

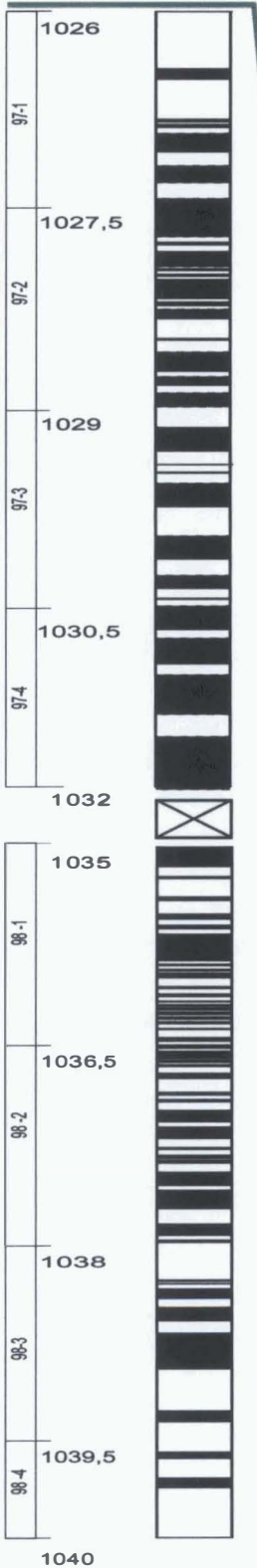
Seção não amostrada e #99,  
seção 1 (1045,5-1040)  
Taxa de acumulação= 1 cm/ka  
Lapso de tempo=0,5 Ma



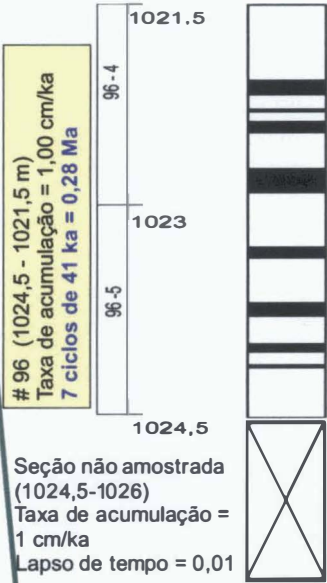
Seção não amostrada  
(1051,5-1053)  
Taxa de acumulação=  
1,7 cm/ka  
Lapso de tempo=0,01 Ma



# 98 e 97 (1040 - 1026 m)  
Taxa de acumulação = 1,00 cm/ka  
Tempo de deposição = 1,40 Ma



TOPO DA SEÇÃO  
ESTUDADA



BASE DA SEÇÃO ESTUDADA

Figura 10.16 - Estimativa da duração temporal do intervalo entre 1021,5 e 1056 m do poço DSDP-530A. A análise de ciclicidade aponta para valores em torno de 2,7 Ma. Observe que os valores inferiores a 0,1 Ma foram arredondados. Nos intervalos sem amostragem as taxas de acumulação foram extrapoladas pela média dos valores adjacentes. Ao lado da identificação dos testemunhos e das seções estão representadas as camadas de folhelhos negros. Os cálculos das estimativas temporais para os testemunhos #100, #99 e #96 foram feitos através da contagem do número de ciclos. Para os testemunhos #98 e #97, devido a dificuldade de identificar isoladamente os ciclos, utilizou-se as taxas de acumulação estimadas a partir da análise espectral.

#### 10.4 CONSIDERAÇÕES SOBRE OS DADOS DE GEOQUÍMICA E A ORIGEM DOS CICLOS.

Uma abordagem sobre a ciclicidade dos depósitos ricos em MO do poço DSDP-530A deve necessariamente considerar as informações geoquímicas disponíveis. Sobretudo porque a base de dados utilizada para a análise cicloestratigráfica foi o índice colorimétrico, cujo significado relaciona-se diretamente aos parâmetros geoquímicos e aos processos de acumulação e preservação da MO.

A ciclicidade reconhecida no intervalo entre os testemunhos #96 e #100 é uma expressão da alternância de estratos de cor verde, preto e cinza escuro, já que os vermelhos são relativamente raros. Desta forma o problema resume-se em identificar e caracterizar a composição e os mecanismos associados à formação destes depósitos.

No que diz respeito aos processos deposicionais, sabe-se que a associação faciológica de siltitos cinza, argilitos verdes e folhelhos negros do DSDP-530A é relacionada em parte a correntes de turbidez; Contudo, uma considerável parte destes depósitos são hemipelágicos e pelágicos. A distinção entre esses depósitos e os turbidíticos nem sempre é fácil, uma vez que grande parte das estruturas sedimentares e a própria organização original dos depósitos é freqüentemente destruída pela bioturbação. Segundo Stow & Dean (1984) as camadas adjacentes aos folhelhos negros freqüentemente mostram características de turbiditos muito finos com base erosiva, gradação e ondulações de baixa amplitude (sub-capítulo 4.2). Os siltitos de coloração cinza, nitidamente originados por correntes de turbidez, ocorrem isolados, na base ou no topo dos folhelhos negros laminados ou da camadas de argilitos cinza (Fig. 10.17a e b). Em alguns casos a passagem dos argilitos verdes para os folhelhos negros ocorre sem a presença de lâminas de siltito (Fig. 10.17c). A icnofácies muda gradativamente, ou bruscamente, a partir dos argilitos verdes em direção aos folhelhos negros, que eventualmente são bioturbados (10.17d e 10.17e). Estes autores interpretam com base nestas características sedimentológicas, que parte dos folhelhos negros possui uma origem turbidítica; isto é, a MO destas rochas foi remobilizada da plataforma, concentrada e redepositada devido a correntes de turbidez. Consideram, entretanto, importante a contribuição dos depósitos hemipelágicos-pelágicos.

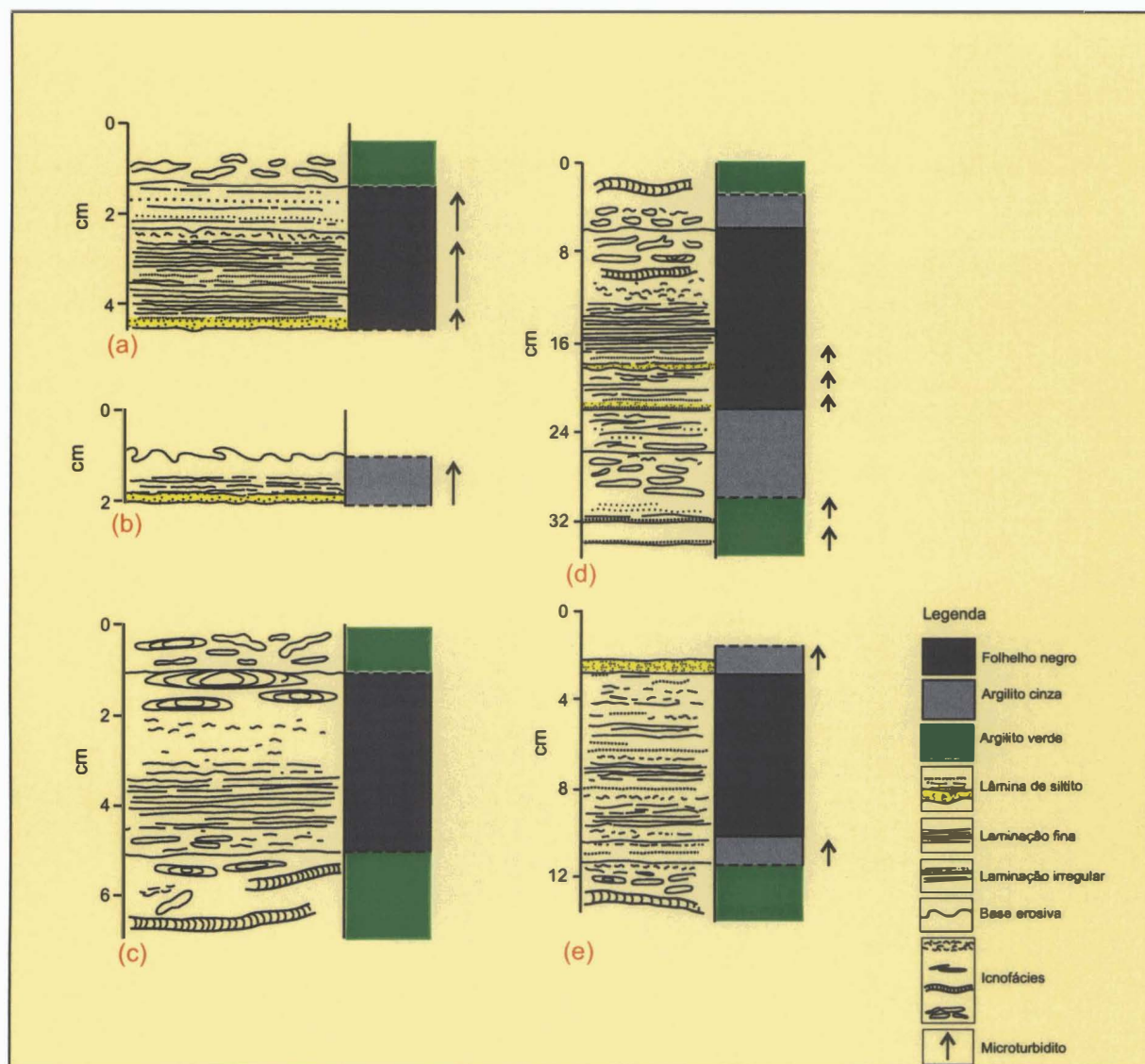


Figura 10.17 - Detalhe das estruturas sedimentares típicas dos folhelhos negros e fácies associadas no poço DSDP-530A. Os siltitos ocorrem na base dos folhelhos negros associados aos argilitos verdes, ou na base das camadas isoladas de argilitos cinza (**a e b**); no contato dos folhelhos negros com as camadas de argilitos verde pode, ou não existirem siltitos (**c**); observa-se uma mudança de iconofácies dos folhelhos negros para os argilitos cinza e verde (**d**).



Quanto às características geoquímicas, a maior parte dos estudos interpreta que os folhelhos negros são formados por MO de origem marinha, enquanto os argilitos verdes são caracterizados por MO continental detrítica (Brassell, 1984; Deroo *et al.* 1984; Rullkötter *et al.*, 1984; Dean *et al.*, 1986). Existem poucos autores que discordam desta interpretação (Nohara *et al.*, 1984 e Meyers *et al.*, 1984).

Deroo *et al.* (1984) e Rullkötter *et al.* (1984), com base no COT, pirólise, cromatografia e petrografia orgânica, interpretam que os folhelhos negros, em relação aos argilitos verdes, são enriquecidos em MO de origem marinha menos oxidada. Para Deroo *et al.* (1984), nos folhelhos negros existe um predomínio de MO marinha do Tipo II, enquanto nos depósitos de cor verde existe um domínio de material carbonoso úmico (Tipo III). Segundo estes autores, na transição das camadas verdes para as escuras ocorre freqüentemente um aumento progressivo do COT e IH, acompanhado da redução do IO, normalmente elevado nos argilitos verdes. O aumento progressivo do COT sugere uma origem pelágica para estas rochas, eventualmente interrompida bruscamente por depósitos de deslizamentos (*slumps*). Na figura 10.18 são ilustrados em detalhe alguns intervalos adjacentes às camadas de folhelhos negros, ilustrando as variações do COT, IH e IO na transição dos argilitos verdes para os folhelhos negros: a) o aumento e redução do COT de forma gradativa (Fig. 10.18-A); b) elevação brusca do COT na base dos folhelhos negros com redução gradativa, indicando que esta camada foi redepositada (Fig. 10.18-B); c) crescimento progressivo do COT seguido de um brusco decaimento, sugerindo que esta camada foi truncada no topo por um depósito de deslizamento (Fig. 10.18-C). Independente do padrão de variação do COT a elevação deste parâmetro é sempre acompanhada pelo aumento do IH e redução do IO, que é mais elevado nos argilitos verdes.

De maneira oposta, Meyers *et al.* (1984) considera que nos depósitos com COT elevado predomina a MO de origem continental, sendo esses depósitos em grande parte de origem turbidítica. Ainda segundo estes autores, as diferenças geoquímicas entre folhelhos negros e argilitos verdes sugerem fontes de MO distintas ou variações nas condições de oxirredução, talvez induzidas pela variação no tipo de MO. Partindo da premissa que a fonte da MO dos folhelhos negros e argilitos verdes é distinta, os autores afirmam que durante o período de formação dos folhelhos negros, haveria maior disponibilidade de MO de origem terrestre na plataforma. Para estes autores os folhelhos negros do intervalo correspondente aos testemunhos #97 e #98 teriam sido depositados em condições anóxica-disóxicas,

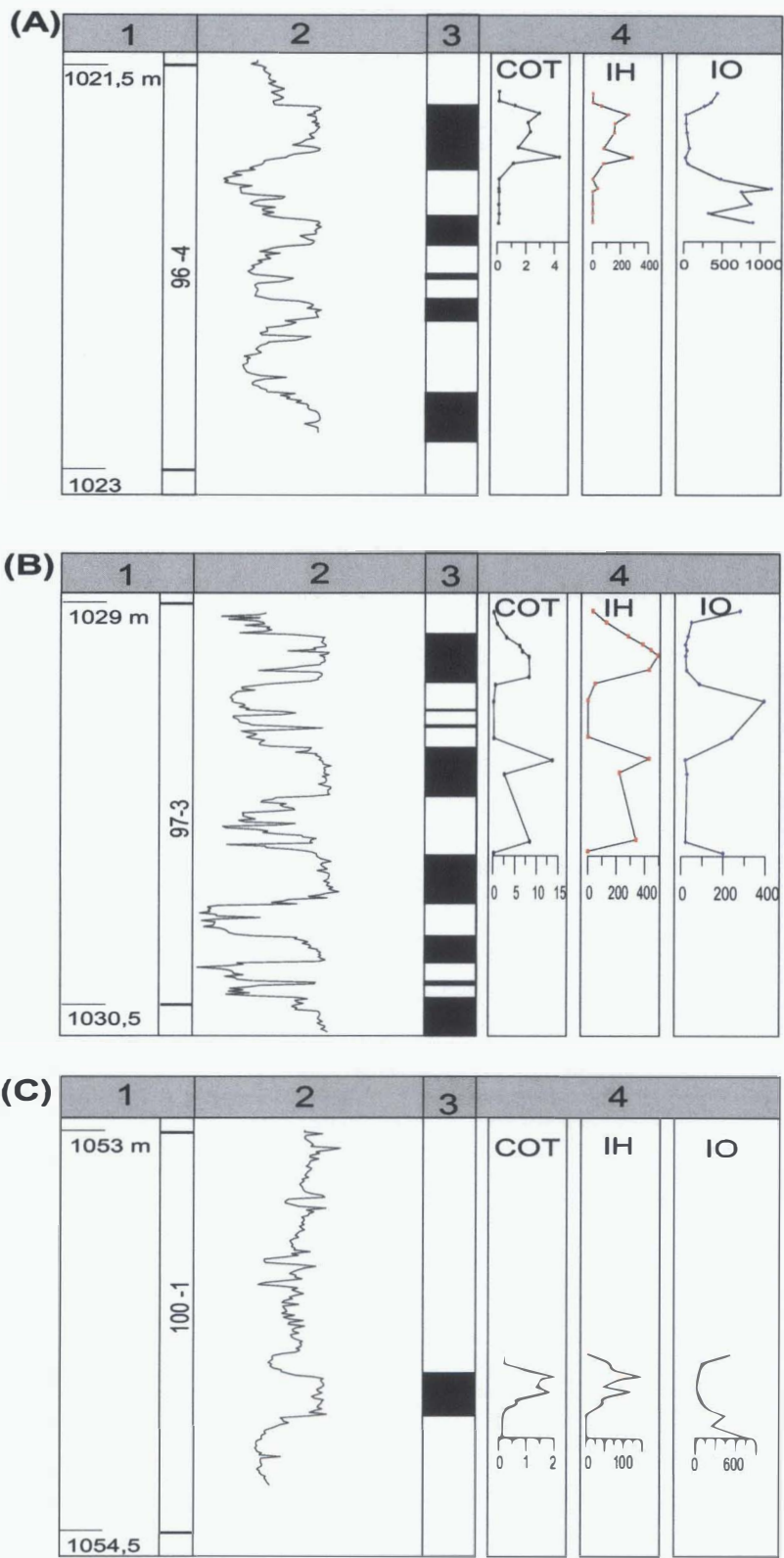


Figura 10.18 - Detalhe do comportamento do COT, IH e IO na transição das camadas de argilitos verdes para os folhelhos negros. No primeiro caso (a) tanto o aumento como a redução do COT é gradativa; no segundo (b), o aumento brusco sugere que a camada é constituída de materia orgânica remobilizada; e no terceiro (c), a queda brusca dos valores de COT sugere que a camada foi truncada. 1- profundidade, testemunho e seção; 2-Curva do índice colorimétrico; 3- folhelhos negros; 4- COT, IH e IO. Fonte dos dados geoquímicos: Deroo *et al.* (1984).

enquanto que as camadas ricas em MO sobrepostas representariam fases disóxicas-óxicas (testemunhos #88 a #96).

Dean *et al.* (1986) e Nohara *et al.* (1984), utilizando o  $\delta^{13}\text{C}$  da MO, discutem a gênese da MO dos folhelhos negros do DSDP-530A. As interpretações destes autores são antagônicas. Segundo Dean *et al.* (1986) existe uma nítida correlação entre o IH e o teor de carbono orgânico (Fig. 10.19a); porém, a relação entre o  $\delta^{13}\text{C}$ , IH e a coloração dos depósitos não é bem definida (Fig. 10.19b). Considerando-se que as rochas marinhas do Cretáceo médio possuem valores de  $\delta^{13}\text{C}$  entre -29 e -27 ‰ os autores concluem que MO dos argilitos verdes e folhelhos negros é predominantemente de origem marinha, com alguma contribuição de origem continental. Segundo o estudo de Nohara *et al.* (*op. cit.*), o  $\delta^{13}\text{C}$  dos folhelhos negros varia em torno de -26 ‰, sendo bem mais negativo que a média dos argilitos verdes que possuem valores de -24,5 ‰. Os autores a partir destes dados interpretam que a MO dominante nos folhelhos negros é de origem continental e que a contida nos folhelhos verdes é de origem marinha. Os valores mais negativos obtidos por Nohara *et al.* (*op. cit.*), provavelmente, refletem amostras com MO mais degradada, sendo a interpretação destes autores erroneamente fundamentada nos padrões isotópicos de plantas marinhas e continentais atuais. No plâncton marinho do Neogeno e Recente o  $\delta^{13}\text{C}$  varia em torno de -22 ‰ e -24 ‰, sendo os valores mais negativos que -24 ‰ relacionados a vegetais terrestres. Os valores isotópicos do carbono da MO cretácea de origem marinha são depletados em  $^{12}\text{C}$ , sendo usualmente em torno de -27 ‰ (Arthur *et al.* 1985; Popp *et al.* 1989; Freeman & Hayes, 1992).

Os dados de isótopos de carbono e oxigênio obtidos a partir da análise da fração carbonática mostram evidente alteração diagenética, tanto devido à acentuada covariação positiva existente entre eles, como pelos valores anormalmente negativos. Os valores negativos de  $\delta^{13}\text{C}$ , que em média são de -3 ‰, atingem até -11 ‰, e, provavelmente, resultam da dissolução e reprecipitação do carbonato fino, constituído principalmente por nanofósseis, sob influência de  $\text{CO}_2$  depletado em  $^{12}\text{C}$  (Foto 10.9). A sulfato-redução da MO dos estratos adjacente às camadas ricas em carbonatos é um dos processos que pode ter induzido a dissolução deste constituinte. Neste caso o  $\delta^{18}\text{O}$  reflete a temperatura de cristalização do cimento, ao invés de assinalar a temperatura de formação dos principais elementos carbonáticos, que no caso destas rochas são os nanofósseis calcários.

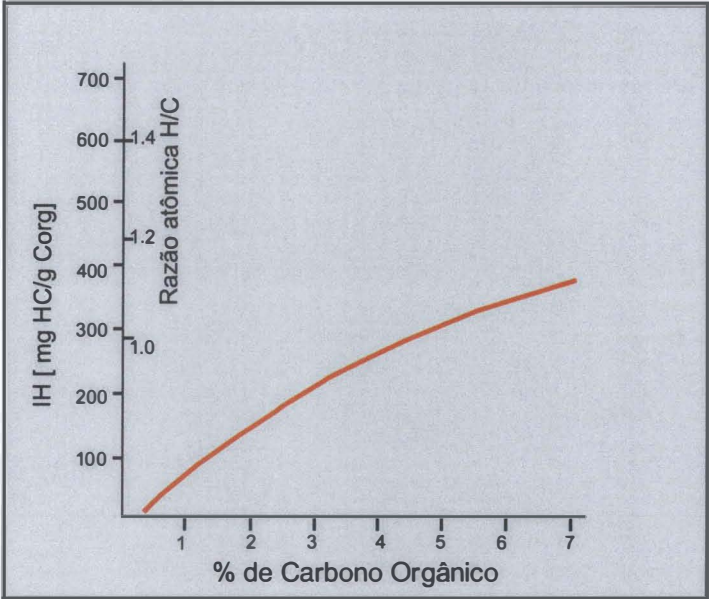


Figura 10.19a - Relação entre o IH e os valores de COT nos folhelhos negros do poço DSDP-530A (Dean *et al.*, 1986).

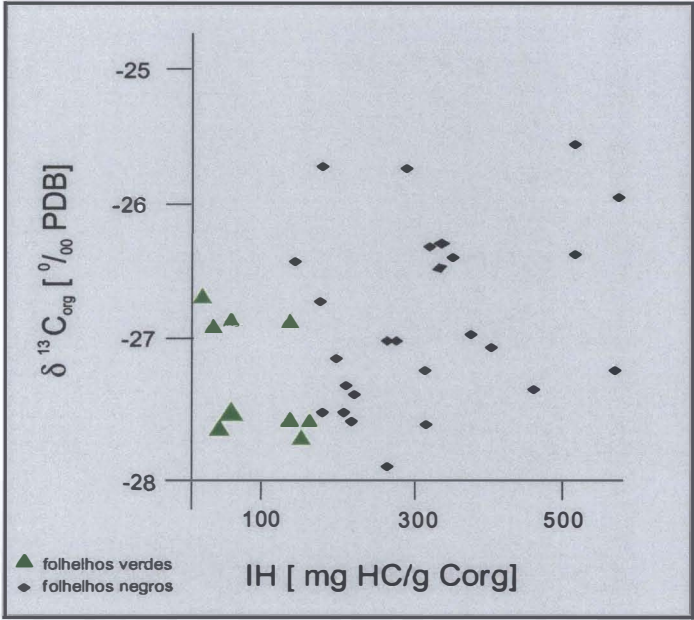


Figura 10.19b. - Relações entre IH e o valor isotópico do C na MO dos folhelhos negros e verdes do poço DSDP-530A (Dean *et al.*, 1986).



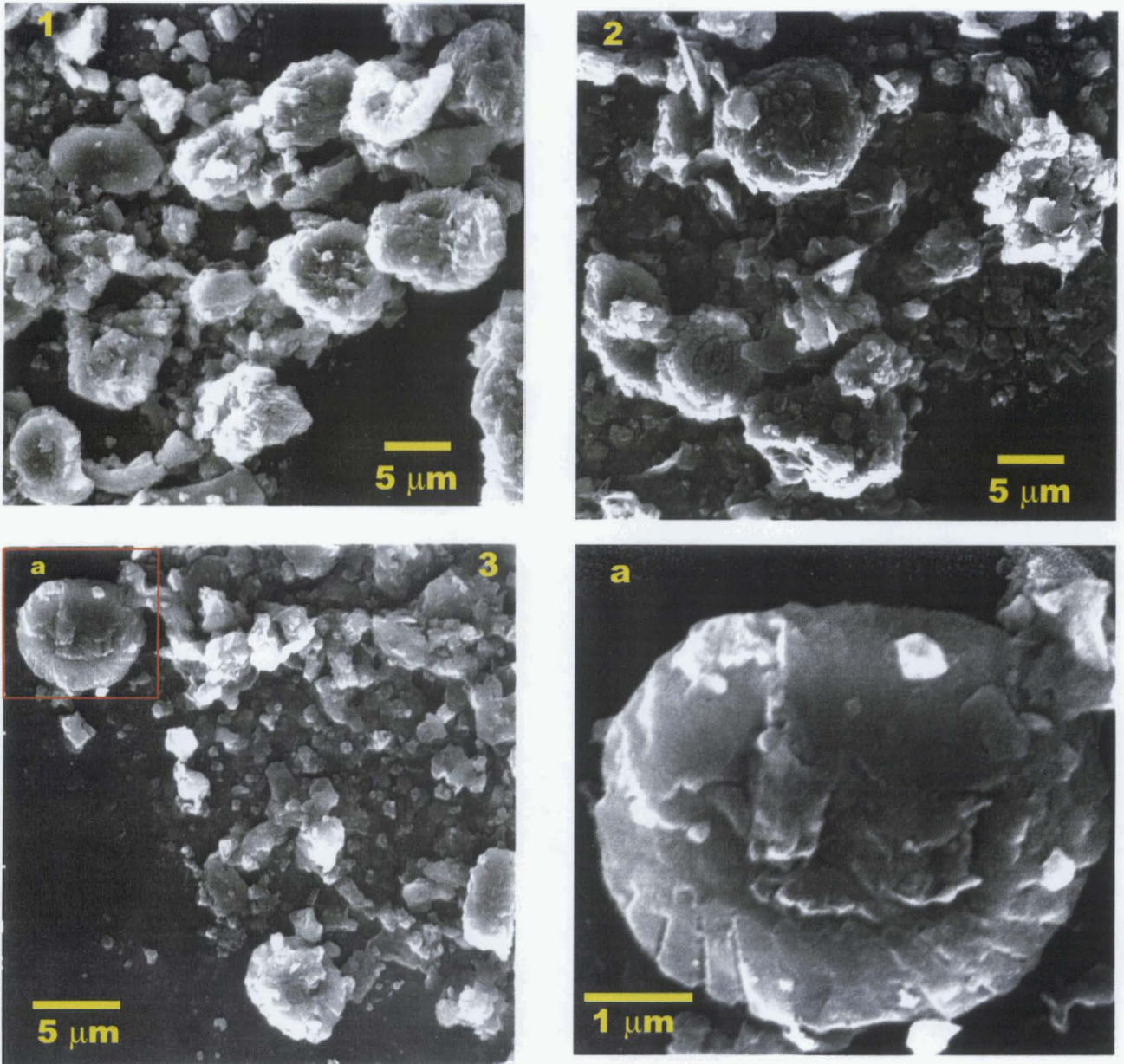


Foto 10.9 - Análise ao MEV das amostras coletadas em 1073,5 m (1 e 2) e 1076,51m (3) do poço DSDP-530A. Nota-se dissolução e reprecipitação intensa de carbonato nos nanofósseis e fragmentos de carbonatos de tamanho similar. Os valores de  $\delta^{18}\text{O}$  e  $\delta^{13}\text{C}$  são bastante negativos devido ao processo de dissolução induzido pela sulfato-redução da MO das camadas adjacentes (1073,50 m,  $\delta^{18}\text{O} = -5,24\text{‰}$  e  $\delta^{13}\text{C} = -2,54\text{‰}$ ; 1076,51m,  $\delta^{18}\text{O} = -5,42\text{‰}$  e  $\delta^{13}\text{C} = -2,22\text{‰}$ ).



Segundo Dean *et al.* (1984), a cor escura dos folhelhos negros é devido ao elevado teor de MO e à presença de sulfeto de ferro. Porém, quanto à origem da cor verde dos argilitos existem duas hipóteses: a) resultam da modificação diagenética dos argilitos vermelhos devido à redução do  $\text{Fe}^{+++}$  para  $\text{Fe}^{++}$ ; sendo esse processo induzido pela degradação da MO contida nos folhelhos negros (Hay *et al.*, 1984); b) representam condições de oxigenação intermediárias entre os folhelhos negros (ambiente anóxico/disóxico) e os argilitos vermelhos (ambiente óxico; Dean *et al.*, 1984). A primeira hipótese implica no aumento acentuado da demanda de oxigênio na degradação da MO, gerando condições redutoras nos estratos adjacentes, que causariam a migração do ferro e do sulfato para os folhelhos negros, eventualmente formando pirita na base destes depósitos (Hay *et al.*, 1984). Na segunda hipótese, as condições de anoxia se estabeleceriam gradativamente, induzidas pelo aumento do aporte de MO (Dean *et al.*, 1984). É importante considerar que estes dois mecanismos não são excludentes e podem ter atuado em conjunto.

Conclui-se a partir do contexto sedimentológico e dos dados da geoquímica orgânica, que os principais fatores de distinção entre os folhelhos negros e os argilitos verdes é a contribuição de MO de origem marinha autóctone. O padrão básico de sedimentação (*background*) tanto nos folhelhos como nos argilitos é definido pelo aporte de MO detrítica proveniente da plataforma, tanto de origem marinha como continental. Contudo, os folhelhos negros possuem um teor mais elevado de MO de origem marinha que pode ser associado a períodos de maior produtividade primária. As oscilações na produtividade primária podem ter induzido a expansão da zona de mínimo de oxigênio, segundo um padrão cíclico associado a fatores climático-orbitais. A alternância de períodos úmidos e secos pode ter causado variações na quantidade de nutrientes disponível na massa d'água oceânica, controlando a produtividade primária na plataforma e no talude, modulando a produção de carbonato pelágico e o aporte de sedimentos argilosos.

O modelo adotado neste trabalho é similar ao proposto por Stow & Dean (1984; Fig. 10.20). Entretanto, segundo estes autores, a deposição dos folhelhos negros estaria em grande parte associada a turbiditos de caráter não periódico. Considerando-se que a análise de ciclicidade aponta para um padrão predominantemente periódico, é coerente supor a existência de um mecanismo climático-orbital. A existência de depósitos turbidíticos ricos em MO é inquestionável; contudo, estes estão em menor número e foram depositados segundo uma ordem de frequência superior ao ciclo de obliquidade. Na análise de ciclicidade, a presença

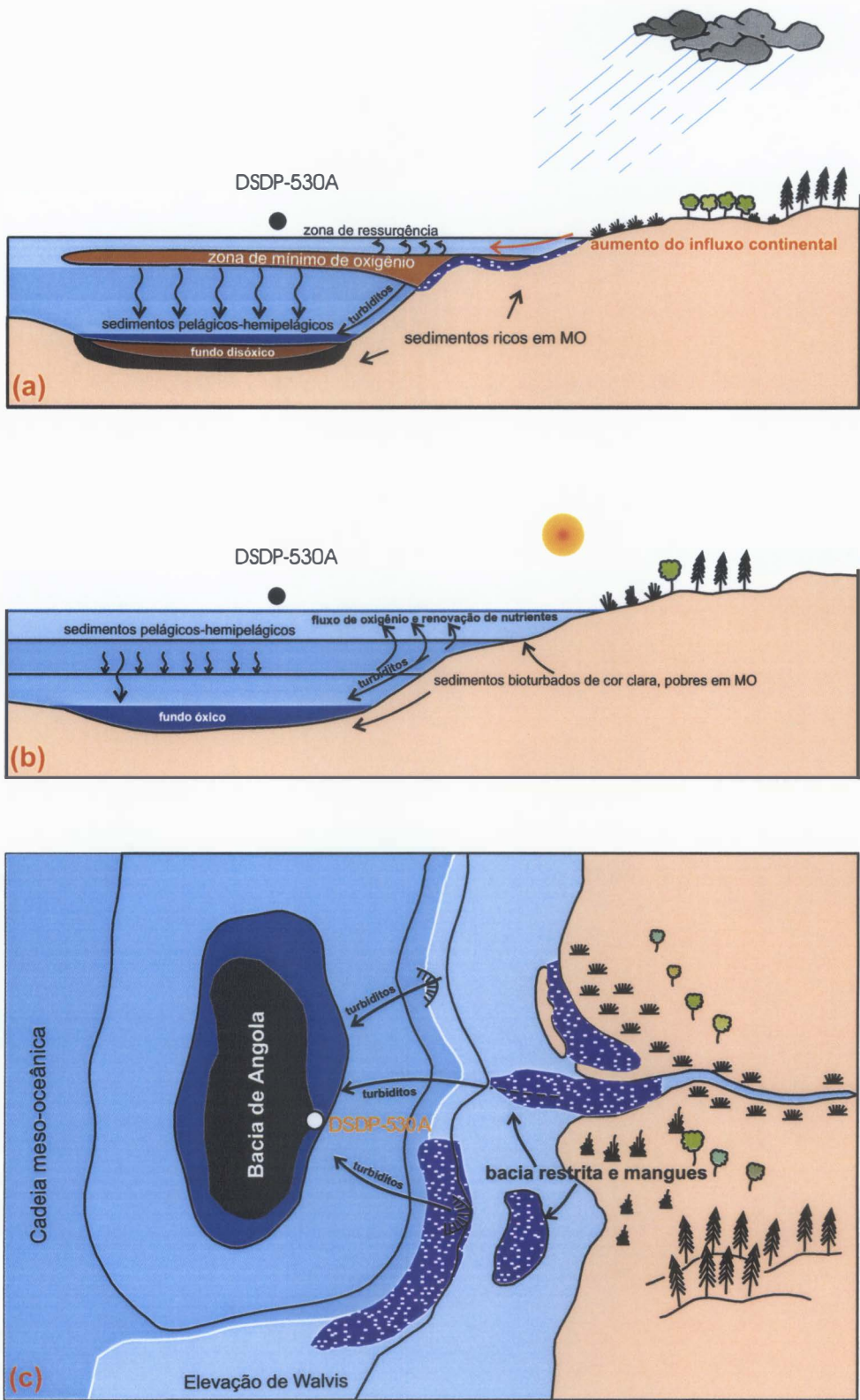


Figura 10.20- Modelo de deposição dos folhelhos negros do poço DSDP-530A. Nos períodos úmidos com elevado aporte de nutrientes ocorre uma situação propícia à formação de depósitos ricos em MO (a). Nos períodos secos as condições são favoráveis à deposição de carbonatos e margas de cor clara, pobres em MO (b). Planta esquemática mostrando o influxo de sedimentos ricos em MO provenientes das áreas de plataforma (c). (Modificado de Dean & Stow, 1984 e Stow, 1984).

dos turbiditos, que ocorrem segundo períodos variáveis de 10 a 25 ka, é responsável pela baixa resolução do ciclo precessional, tornando os ciclos de obliquidade e excentricidade mais destacados.

## 11. BACIA DE SANTOS (POÇO SA-1)

Os primeiros estudos da Bacia de Santos, desenvolvidos pela Universidade de Columbia (Lamont-Doherty Geological Observatory), datam da década de 60. Os trabalhos de cunho regional iniciaram nos anos 70, tendo como objetivo delinear o arcabouço cronolitoestratigráfico (p. ex., Miranda, 1970 e Baccar, 1970). Na década de 80, além dos estudos sobre o arcabouço estrutural da bacia (p.ex., Williams & Hubbard, 1984 e Kiang & Kowsmann, 1984), foram desenvolvidos um grande número de estudos paleontológicos, geoquímicos e sedimentológicos. Pereira (1990) e Hashimoto (1995) compilaram os principais trabalhos referentes a esta bacia.

O poço SA-1, objeto deste estudo, foi perfurado na plataforma de Florianópolis, no limite sul da Bacia de Santos em uma lâmina d'água de cerca de 180 metros (Fig. 11.1). Este poço foi escolhido por apresentar uma seqüência relativamente espessa de folhelhos do Turoniano ricos em MO depositados em ambiente nerítico externo-batial. O limite inferior do intervalo estudado caracteriza-se por uma discordância erosiva. Os estratos subjacentes à discordância são de idade meso-eocenomaniana. O intervalo Turoniano-Coniaciano possui cerca de 360 m de folhelhos calcíferos, margas e finas camadas de arenitos agrupados na Formação Itajaí-Açu (Fig. 11.2), sendo limitado no topo por uma discordância erosiva (Anexo 9). As seqüências deposicionais (cf. van Wagoner *et al.*, 1988) identificadas nos perfis geofísicos consistem em um trato de sistema transgressivo (TST) seguido de um trato de sistema de mar alto (TSMA), separados por uma superfície de inundação máxima (SIM), inferida com base nos altos valores dos perfis de raios gama, sônico e COT elevado (Fig. 11.3).

O principal enfoque no estudo da seqüência turoniana desta bacia, foi verificar a existência de ciclicidade climática-orbital, já que no único testemunho coletado nesta seqüência observa-se uma sucessão de fácies laminadas e maciças, sugerindo que algum mecanismo periódico tenha controlado a formação destas rochas.

No intervalo testemunhado do poço SA-1 (#3 - 3309-3327<sup>1</sup>) foram feitas análises quantitativas de nanofósseis a cada 30 cm. Nas amostras de calha coletadas a cada 9 metros (3042-3309 e 3327-3447 m) foram feita análise qualitativas (Anexo 9). Foram confeccionadas

<sup>1</sup> 3309-3327 m corresponde à profundidade indicada na sonda. Porém a correlação da curva de raio gama do testemunho (*core-gamma*) com a perfilagem, sugere que este testemunho foi cortado em 3315-3333 m.

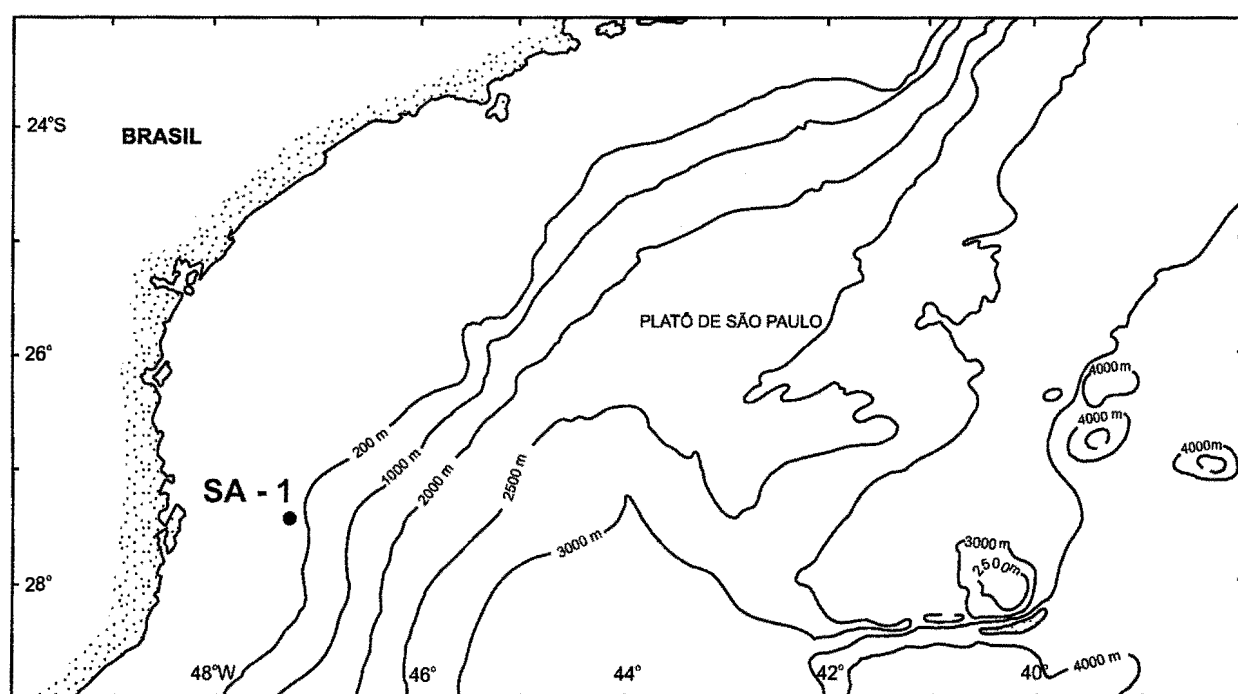
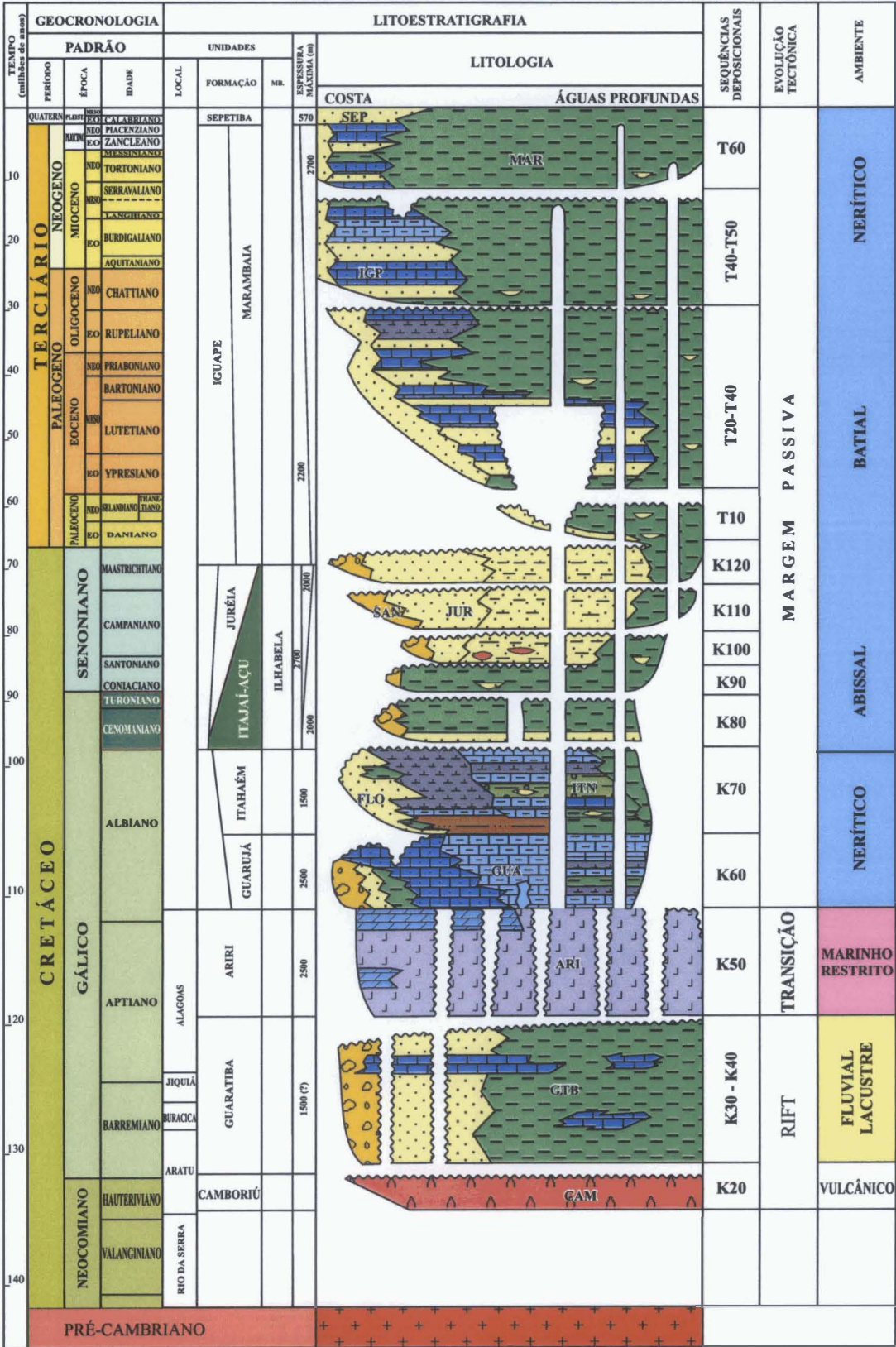
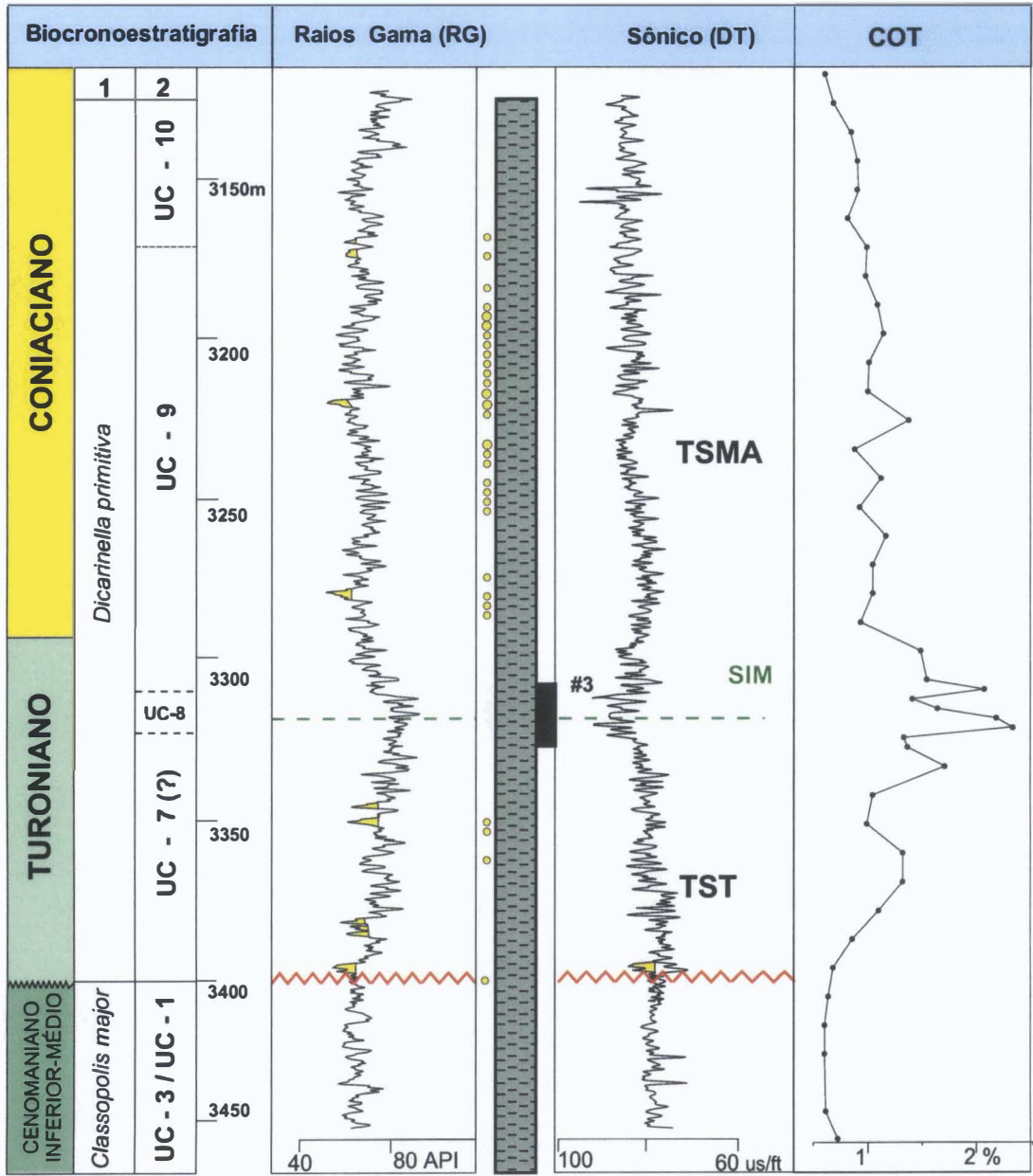


Figura 11.1 - Mapa de localização do poço SA-1 (Modificado de Perch-Nielsen, 1977).



CARTA ESTRATIGRÁFICA DA BACIA DE SANTOS





arenitos nas amostra de calha:

● 5%-10%

○ Tr

■ Folhelhos e folhelhos calcíferos

--- superfície de inundação máxima (SIM)

TST Trato de sistema transgressivo

TSMA Trato de sistema de mar alto

~~~~~ discordância

Figura 11.3 - Tratos de sistemas evidenciados na seqüência turoniana do poço SA-1 a partir dos perfis geofísicos. Os valores elevados de RG e DT na profundidade de 3310 m são interpretados como uma superfície de inundação máxima. Coluna 1- Zonas de foraminíferos (*Dicarinella primitiva*) e palinomorfos (*Classopolis major*). Coluna 2- zonas de nanofósseis.

algumas lâminas petrográficas com a finalidade de descrever sucintamente as principais características faciológicas e reconhecer os foraminíferos planctônicos. Desta forma, as análises de nanofósseis e foraminíferos feitas no testemunho permitiram obter informações bioestratigráficas e paleoecológicas.

Nas mesmas amostras utilizadas para os estudos quantitativos de nanofósseis foram feitas análises geoquímicas do teor de carbonato, carbono orgânico e isótopos de carbono e oxigênio em rocha total na fração carbonática. Algumas destas amostras foram selecionadas para determinação do  $\delta^{13}\text{C}$  na MO e dos índices de oxigênio e hidrogênio (Anexo 8).

As análises espectrais foram realizadas nos perfis de raios gama (RG) e sônico (DT). Os resultados obtidos na análise espectral das séries temporais compostas pelos dados geoquímicos e paleontológicos do testemunho não foram satisfatórios. Isto se deve principalmente ao tamanho reduzido destas séries temporais (cerca de 68 elementos). Deste modo, as informações referentes à análise espectral provêm essencialmente dos perfis geofísicos, enquanto que os estudos desenvolvidos no testemunho forneceram principalmente informações sobre a origem dos ciclos.

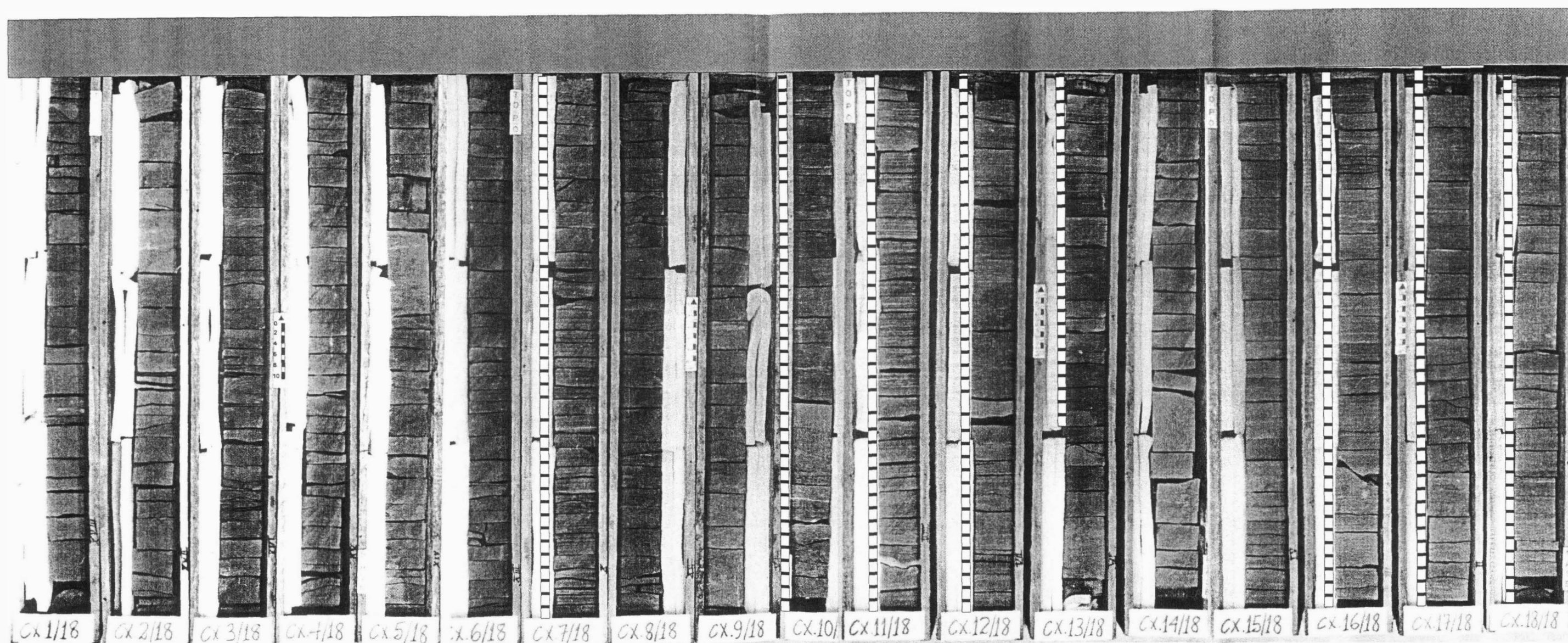
## 11.1 CARACTERIZAÇÃO FACIOLÓGICA

Macroscopicamente observa-se duas fácies no único testemunho recuperado no intervalo estudado. Uma das fácies é maciça, constituída de folhelhos calcíferos de cor cinza escuro, localmente bioturbado ou piritizado (Foto 11.1). Ao microscópio observa-se que os folhelhos são ricos em MO amorfa com esparsos grãos de quartzo e foraminíferos planctônicos preenchidos por cimento calcífero. Os grãos maiores encontram-se orientados de maneira incipiente (Fotos 11.2). A outra fácies é também pelítica, possui coloração semelhante, porém, apresenta lâminas milimétricas de carbonato de cor cinza claro (Foto. 11.3). Os constituintes principais destas lâminas são carapaças de foraminíferos planctônicos.

Na fácies laminada, ocorrem grãos de quartzo e fragmentos de carapaças de invertebrados orientados segundo uma mesma direção. A continuidade e espessura das lâminas é relacionada à quantidade e o grau de amalgamação das carapaças. Nas lâminas descontínuas as carapaças de foraminíferos estão isoladas, enquanto que nas lâminas



## TESTEMUNHO DO SA-1 (3309-3327 m)



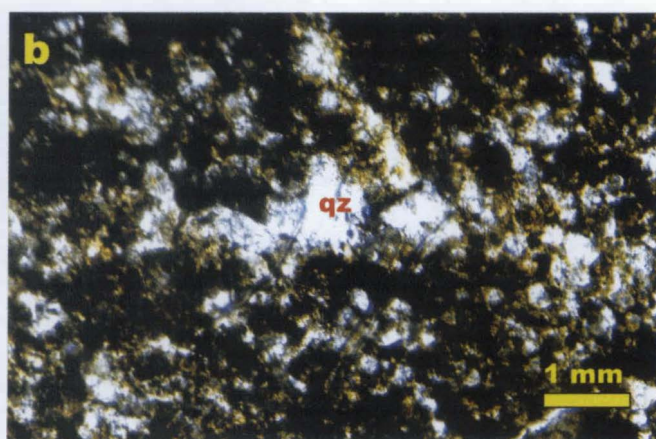
Legenda:

Intervalo com fácies laminada

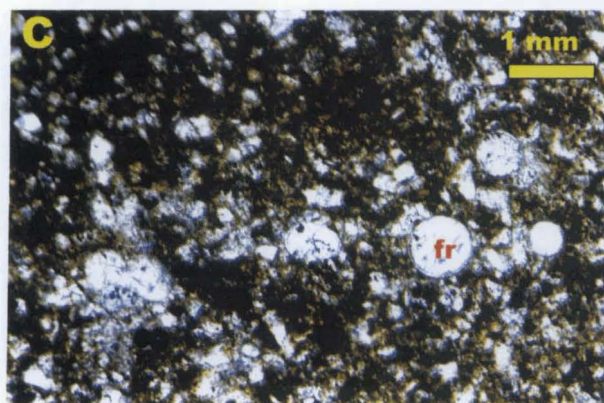
Foto 11.1 - Fotos do testemunho do poço SA-1



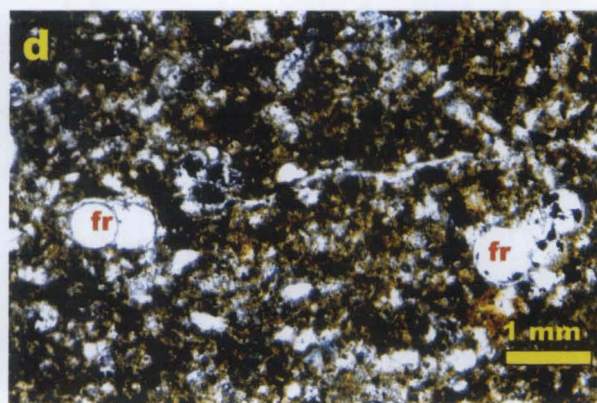
3313,55 m



3316,20 m (LP)



3313,05 m (LP)



3313,05 m (LP)

Foto 11.2 - Detalhe da fácies maciça do testemunho do poço SA-1 (a). Ao microscópio a fácies maciça caracteriza-se pelo predomínio de matéria orgânica com grãos de quartzo (qz) e foraminíferos (b). Eventualmente nesta fácies ocorrem foraminíferos (fr) cimentados e sutilmente orientados (c-d).



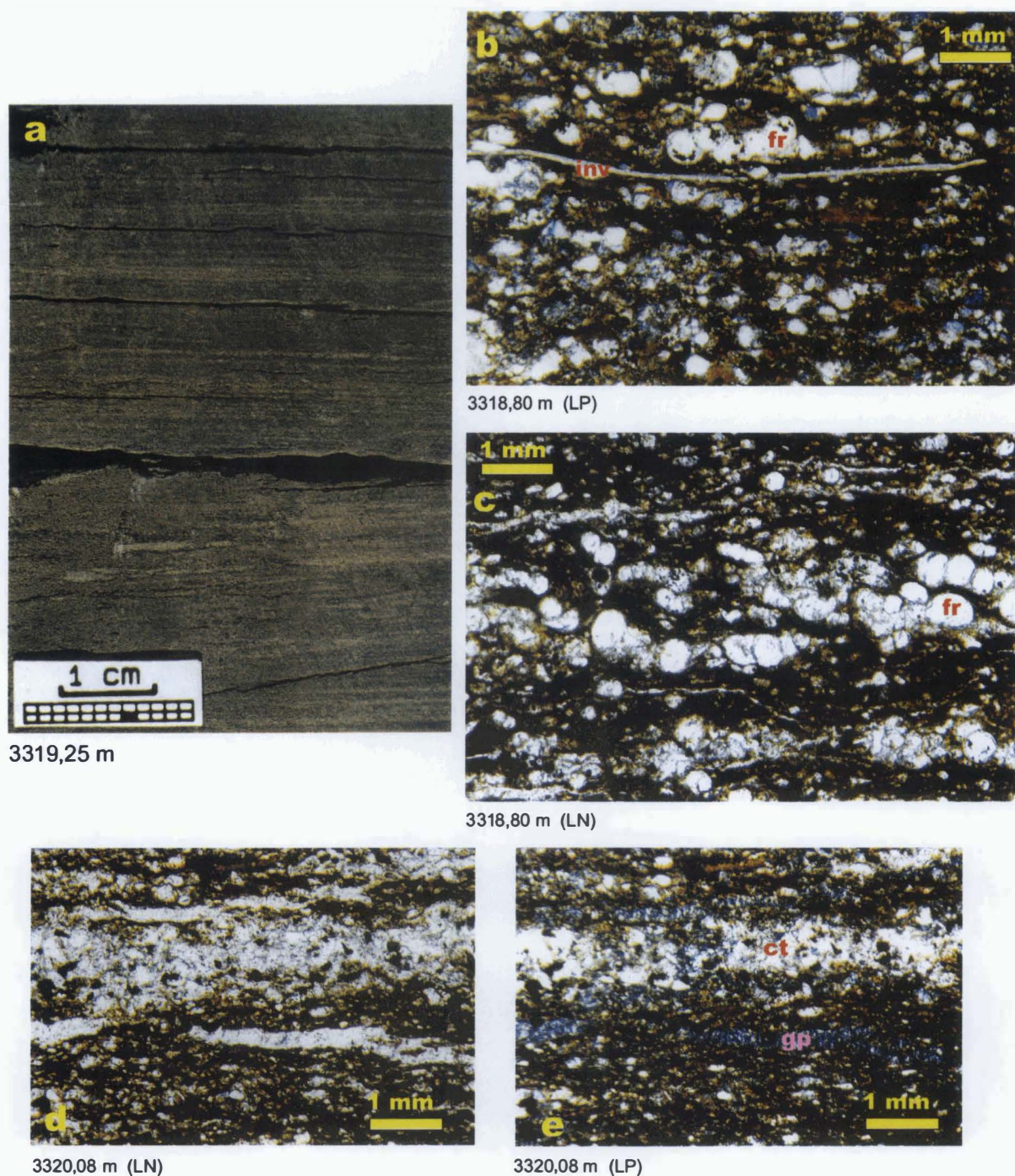


Foto 11.3 - Detalhe da fácies laminada do testemunho do poço SA-1 (**a**). Ao microscópio esta fácies apresenta lâminas de cor clara formadas por carapaças de foraminíferos (fr) e invertebrados (inv) orientados (**b** e **c**). Eventualmente estas carapaças estão cimentadas e agrupadas formando uma lâmina de calcita (ct). A gipsita (gp) preenche as fraturas paralelas ou perpendiculares à laminação (**d** - **e**).

mais espessas e contínuas é difícil individualizar os constituintes, seja pela amalgamação ou cimentação mais intensa. As microfraturas que cortam as lâminas são preenchidas por gipsita, que aparentemente foi precipitada em uma fase de cimentação posterior, não reagindo com o cimento calcífero (Foto 11.3). A caracterização da gipsita nas lâminas petrográficas é bastante difícil, sendo que a confirmação da existência deste mineral foi feita ao MEV (*backscattering* com espectrometria dispersiva de raios-X; Fig. 11.4). O sulfato necessário para a formação da gipsita é um produto da oxidação da pirita, durante períodos de relativa oxigenação, logo abaixo da interface água-sedimento.

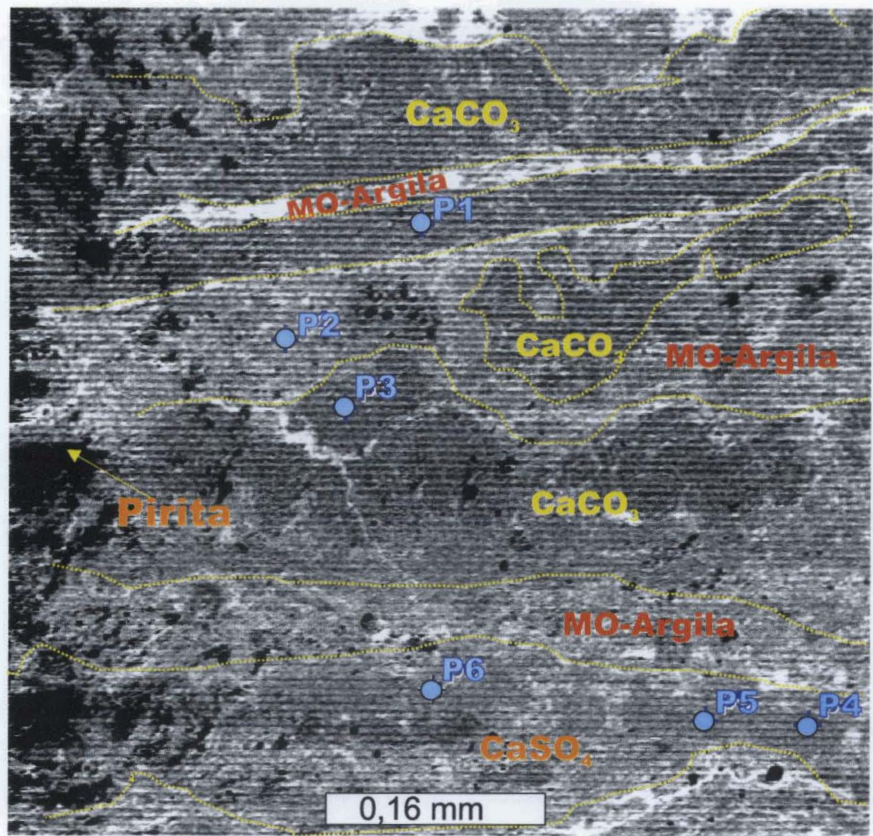
A passagem de uma fácies para outra é transicional, caracterizada por estratos síltico-argilosos sub-laminados ou com laminação incipiente resultante da orientação de esparsos grãos de quartzo, fragmentos de conchas e carapaças de foraminíferos. Localmente, ocorrem lentes e lâminas descontínuas de arenito muito fino ou siltito com estruturas de corrente (*climbing ripples*).

A orientação dos grãos maiores, mesmo nos depósitos maciços, indica a ação de correntes trativas. Interpreta-se que as fácies observadas no testemunho são predominantemente turbiditos síltico-argilosos, ou fácies mais distal de turbiditos arenosos. A espessura e a continuidade das lâminas reflete a quantidade de foraminíferos disponível na área fonte e a intensidade das correntes de turbidez. Durante o processo de transporte e deposição as carapaças são selecionadas, propiciando a formação de lâminas constituídas exclusivamente por foraminíferos. Quando a granulometria torna-se mais grossa surgem estruturas sedimentares que sugerem transporte trativo como os "*climbing ripple*". Por outro lado, o aumento dos constituintes pelágicos, depositados em suspensão, torna os estratos gradativamente mais maciços.

Segundo as descrições das amostras de calha os intervalos abaixo e acima do testemunho são constituídos, principalmente, por folhelhos e lamitos, com a presença subordinada de arenitos e margas. Observa-se que a ocorrência dos arenitos é mais freqüente na parte superior da seção, interpretada como um trato de sistema de mar alto. Estas camadas arenosas refletem a progradação de fácies proximais sobre os depósitos depositados durante a elevação relativa do nível do mar.



SA-1 - 3319,2 m



| Elemento | Ponto de leitura                  |       |       |       |       |       |
|----------|-----------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
|          | (porcentagem do elemento em peso) |       |       |       |       |       |
|          | p1                                | p2    | p3    | p4    | p5    | p6    |
| Si       | 3,26                              | 65,62 | 0,98  | 1,96  | 3,68  | 1,00  |
| Na       | 0,77                              | 0,86  | 0,12  | ----- | ----- | ----- |
| Mg       | 0,55                              | 0,73  | 0,34  | 0,24  | 0,23  | ----- |
| K        | 9,63                              | ----- | ----- | 0,49  | ----- | ----- |
| Ca       | 92,63                             | 2,42  | 96,62 | 58,59 | 55,72 | 57,94 |
| Ti       | 0,27                              | 0,02  | 0,39  | 0,49  | 0,04  | 0,44  |
| Fe       | 0,23                              | 7,22  | 0,56  | ----- | 0,46  | 0,86  |
| Al       | 0,55                              | 13,15 | 0,06  | ----- | 0,47  | ----- |
| P        | 0,09                              | ----- | 0,57  | 0,44  | 0,21  | 0,40  |
| S        | 1,65                              | 0,36  | 0,35  | 38,27 | 38,76 | 39,36 |

Figura 11. 4 - Análise ao MEV (*backscattering*) da lâmina petrográfica 3319,2 m do testemunho do poço SA-1 (aumento de 170 X). Observa-se a alternância de lâminas ricas em carbonato e MO. A gipsita ocorre em lâminas ou preenchendo as microfraturas. Os resultados pontuais da microanálise por espectrometria dispersiva de raio -X (EDS) encontram-se na tabela acima.

## 11.2 DADOS GEOQUÍMICOS E PALEONTOLÓGICOS DO TESTEMUNHO

Apesar dos dados petrográficos sugerirem um aumento da quantidade de carapaças nos intervalos laminados, o teor de  $\text{CaCO}_3$  não se eleva. As pequenas variações do COT reconhecidas no testemunho são independentes das mudanças faciológicas. Provavelmente isso ocorra porque a concentração maior de  $\text{CaCO}_3$  está restrita às lâminas ricas em organismos planctônicos, que são muito finas e eventualmente descontínuas. O teor de carbonato entre as lâminas deve ser mais baixo, ou similar ao teor médio da seção, que varia entre 5 e 22%. Assim, o  $\text{CaCO}_3$  não varia em função da mudança faciológica, ainda que ao longo do testemunho exista uma tendência de redução deste constituinte da base para o topo. O COT, teoricamente, deveria ser mais elevado na fácies maciça, já que nas lâminas observa-se uma maior concentração de MO. Contudo, provavelmente, na fácies laminada, as lâminas escuras intercaladas com lâminas ricas em  $\text{CaCO}_3$  são igualmente ricas em MO, deste modo, os valores de COT são relativamente constantes ao longo de todo o testemunho (1-2 %, raramente ultrapassando 2%; Fig. 11.5).

Os valores de  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{18}\text{O}$  obtidos na fração carbonática eventualmente são muito negativos. O  $\delta^{13}\text{C}$  atinge valores em torno de -4 ‰ a -5 ‰. Da mesma forma o  $\delta^{18}\text{O}$  na maior parte das amostras é inferior a -6 ‰. Observa-se que existe covariação negativa na tendência das curvas de  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{18}\text{O}$ . Em face dos valores excessivamente negativos, e da existência de covariação, acredita-se que os resultados isotópicos são parcialmente distorcidos pela diagênese. Os valores mais negativos de  $\delta^{13}\text{C}$  refletem, provavelmente, amostras com teores mais elevados de cimento carbonático formado durante as fase iniciais da diagênese. Os processos de degradação da MO nos estratos adjacentes aos intervalos mais ricos em carbonato, principalmente a sulfato-redução, deve ter induzido a dissolução da fração carbonática mais fina, que foi reprecipitada junto à interface água-sedimento como cimento enriquecido em  $^{12}\text{C}$ . As amostras com COT mais elevado são adjacentes às aquelas com  $\delta^{13}\text{C}$  mais negativo, corroborando que a dissolução do carbonato esteja associada a degradação da MO (Fig. 11.5).

Considerando que a maior parte do carbonato presente no testemunho é de origem biogênica planctônica, o valor do  $\delta^{18}\text{O}$  deveria ser em torno de -3 ‰ (Scholle & Arthur,

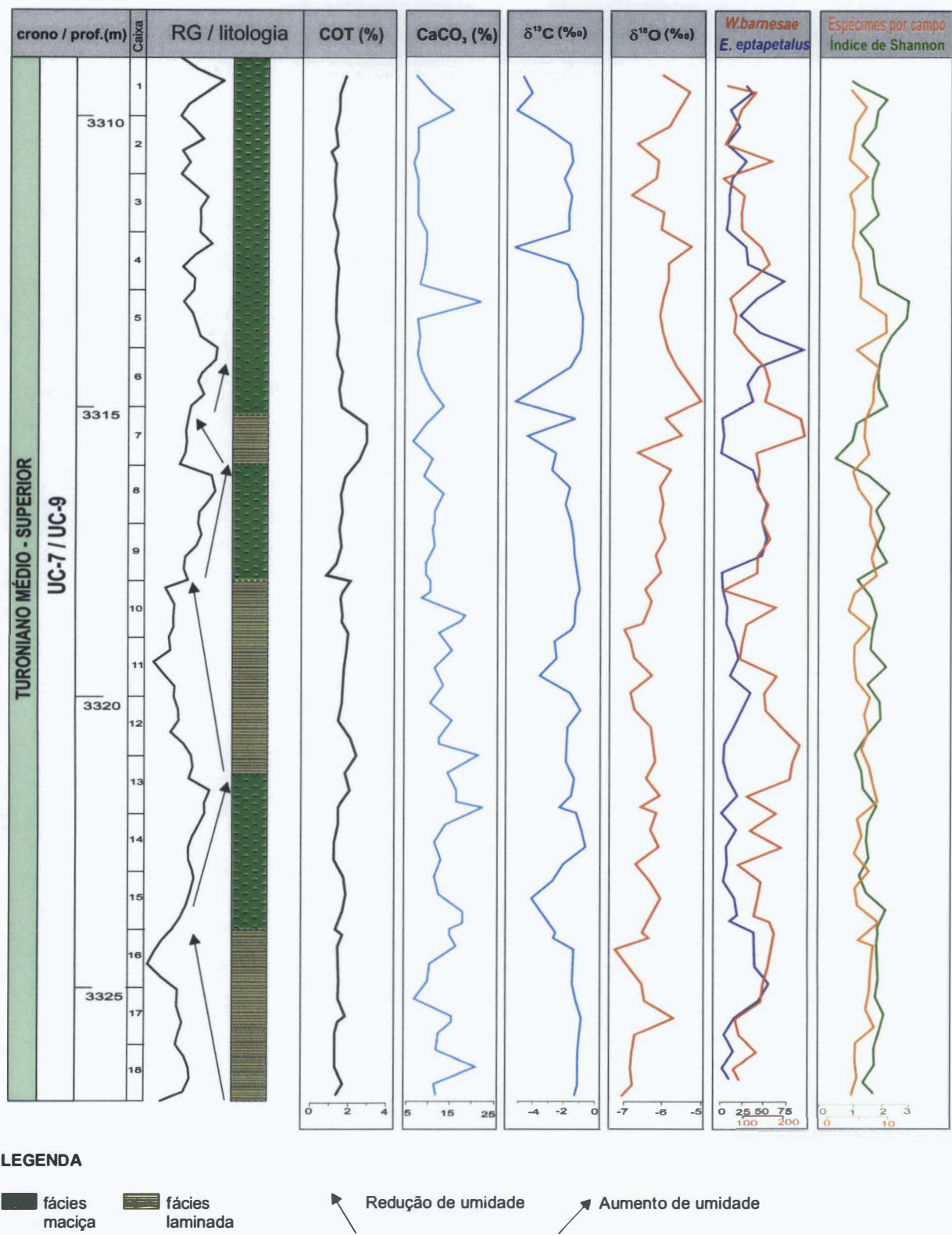


Figura 11.5 - Dados geoquímicos e paleontológicos do testemunho do poço SA-1. A análise quantitativa de *W. barnesae* e *E. eptapetalus* refere-se à contagem de 300 espécimes ou 100 campos de visão por lâmina. A curva de RG foi obtida no testemunho (perfil *core gamma*).



1980 e Jarvis *et al.*, 1988); no entanto, os valores de  $\delta^{18}\text{O}$  oscilam entre -6 a -7‰. Valores desta magnitude são freqüentemente encontrados em margas ou carbonatos cimentados sob influência de águas de baixa salinidade (Marshall, 1992). Não existem evidências petrográficas (dolomitização, por exemplo) e geoquímicas (domínio de MO de origem continental sobre a marinha) que indiquem que este processo tenha ocorrido. Por outro lado, considerando que a espessura sedimentar existente sobre os estratos turonianos é superior a 3000 m, é possível que o soterramento dos folhelhos calcíferos e das lâminas carbonáticas do poço SA-1 tenha propiciado o preenchimento das carapaças por cimento isotopicamente mais leve, influenciado pelo aumento da pressão e temperatura associado ao gradiente geotérmico. Este processo de cimentação, contudo, não explica a covariação negativa do sinal isotópico do carbono e do oxigênio. Interpreta-se que o processo diagenético que causou o deslocamento do  $\delta^{13}\text{C}$  para valores mais negativos, modulou a curva de  $\delta^{18}\text{O}$  para valores menos negativos, fazendo que o sinal em torno de -6 a -7‰ fosse deslocado para valores em torno entre -5 a -6‰. Este deslocamento para valores menos negativos pode estar associado a um fase de cimentação tardia, ocorrido durante o soterramento sob temperaturas mais frias próximo à interface água-sedimento.

Nos dados quantitativos de nanofósseis observa-se a dominância dos gêneros *Eprolithus* e *Watznaueria*. Os valores reduzidos do índice de Shannon-Weaver e do número de espécimes por campo ilustram a baixa diversidade e abundância da maioria das amostras. Observa-se um aumento considerável de *W. barnesae* concomitante com a redução dos valores de  $\delta^{13}\text{C}$  nas lâminas adjacentes aos intervalos mais ricos em MO, interpretado também como indicativo de dissolução (Fig. 11.5).

O sinal isotópico do carbono da MO e os dados de pirólise e COT podem ser utilizados para determinar o grau de preservação e o tipo de MO. O  $\delta^{13}\text{C}$  da MO marinha do cretácea oscila entre - 29‰ e - 27‰, enquanto que a terrestre varia entre - 25‰ e - 24‰ (Arthur *et al.*, 1985; Dean *et al.*, 1986). Foram feitas nove análises de  $\delta^{13}\text{C}$  em extratos orgânicos, e somente duas resultaram em valores superiores a - 27‰, sendo que ambas coincidem com valores de COT e IH relativamente baixos. Segundo Dean *et al.* (1986), o aumento relativo da quantidade e/ou preservação da MO de origem marinha tende a elevar o COT e IH simultaneamente, tornando os valores de  $\delta^{13}\text{C}$  mais negativos. A partir dos dados disponíveis pode-se supor que a MO seja predominantemente de origem marinha, degradada em intensidade diferente. As amostras com sinal isotópico menos negativo refletem

uma degradação mais intensa ou uma contribuição de MO de origem continental maior. Os dados de petrografia orgânica confirmam esta interpretação. Segundo Arai (1987), a maior parte das amostras é composta por MO amorfa oxidada, com contribuição modesta de MO de origem continental. Porém, em alguns intervalos ocorre um aumento relativo da MO lenhosa sobre a amorfa.

### 11.3 BIOESTRATIGRAFIA

A base da seqüência é caracterizada por estratos turonianos sobrepostos a uma seção do Cenomaniano médio-inferior. A discordância basal foi definida utilizando dados palinológicos. Estes dados sugerem que o topo da *Zona Classopolis major*, definido pela última ocorrência local do pólen *Classopolis major*, posiciona-se em 3400 m (Arai, 1988). A análise do conteúdo de nanofósseis também indica uma mudança na assembléia nesta profundidade. As amostras posicionadas abaixo de 3400 m são praticamente estéreis em nanofósseis; contudo, a ocorrência de *Gartnerago nanum* em 3447 m corrobora a datação feita pela palinologia. O intervalo compreendido entre a discordância basal e a base do testemunho (3400 – 3327 m), apesar de pobre em nanofósseis, apresenta uma ocorrência contínua de *E. eptapetalus* e raras ocorrências de *Quadrum gartneri* (Zona UC 7; Turoniano inferior). Deve-se considerar a possibilidade de desmoronamento destas espécies, uma vez que estas foram reconhecidas em amostras de calha. Mesmo assim, a ausência de *Axopodorhabdus albianus* ou *Microstaurus chiastius* indica uma idade eo-meso turoniana para o intervalo acima da discordância (Anexo 9).

O intervalo testemunhado pertencente às zonas de nanofósseis UC-8 e UC-9 (nanofósseis) e do foraminífero *Dicarinella primitiva*. A presença de alguns exemplares de *Lithastrinus moratus* mal preservados no topo do testemunho sugere que o topo da Biozona UC-8 posicione-se em 3311 m. A base da Zona UC-8 foi assinalada por uma ocorrência isolada de *Eiffellithus eximius* (Anexo 9).

As amostras de calha coletadas acima da profundidade na qual o testemunho foi coletado, intervalo entre 3309-3177 m, são caracterizadas por uma assembléia de nanofósseis muito similar à reconhecida no testemunho. Tratando-se de amostras de calha não foi possível estabelecer com precisão o topo da Biozona UC-9, assinalado pelo surgimento de *Micula*

*decussata*. Arbitrou-se o limite superior do Turoniano logo abaixo da última ocorrência de *Eprolithus eptapetalus* (Anexo 9).

O intervalo estudado neste poço está compreendido entre a base da Biozona UC-7 e o topo da Biozona UC-9. Logo acima, na profundidade de 3024 m foram registrados estratos de idade maastrichtiana sobrepostos a Biozona UC-10 (3042-3150 m).

#### 11.4 CICLOESTRATIGRAFIA

O intervalo estudado foi subdividido em um trato de sistema transgressivo (TST) e um trato de mar alto (TSMA), separados por uma superfície de inundação caracterizada por valores de raios gama, sônico e COT elevados (Fig. 11.6). A análise litológica das amostras de calha e dos perfis geofísicos sugere a existência de camadas pouco espessas de arenito, principalmente, no trato de mar alto. A discordância erosiva que delimita a base da seqüência foi identificada a partir dos dados bioestratigráficos, geoquímicos (COT) e por alterações nos padrões dos perfis geofísicos. Os valores de COT da seqüência turoniana são mais elevados em relação ao Cenomaniano médio-inferior. O intervalo Turoniano desta unidade deposicional foi subdividida em 4 ciclos. Cada um deles foi caracterizado pelo aumento dos valores de raio gama a partir de uma camada arenosa, seguido do decréscimo do RG, sendo limitado no topo pelas camadas de arenito da base do ciclo subsequente (Fig. 11.6). Cada ciclo ainda foi subdividido em uma fase inicial e uma final, separadas pelos valores mais elevados na curva de RG. Assume-se que cada uma destas unidades é um ciclo climático que inicia com um período úmido seguido de uma época mais seca.

A análise espectral dos perfis geofísicos do poço SA-1 segue a subdivisão destes ciclos, designados com as letras A-D, do mais antigo para o mais novo. Foram elaborados periodogramas para os ciclos completos, para os intervalos parciais limitados pela mudança da tendência crescente para decrescente na curva de RG, e para os tratos de sistemas transgressivos e de mar alto.

No periodograma mais representativo da fase inicial do primeiro ciclo climático A, confeccionado utilizando a curva DT, observam-se 5 freqüências dominantes, que correspondem aos ciclos de comprimento de onda ( $\lambda$ ) de 3,9; 2,4; 1,9; 1,6-1,4 e 1,1 m (Fig. 11.7 - Periodograma a). O ciclo de maior comprimento de onda ( $\lambda$ ) foi interpretado como

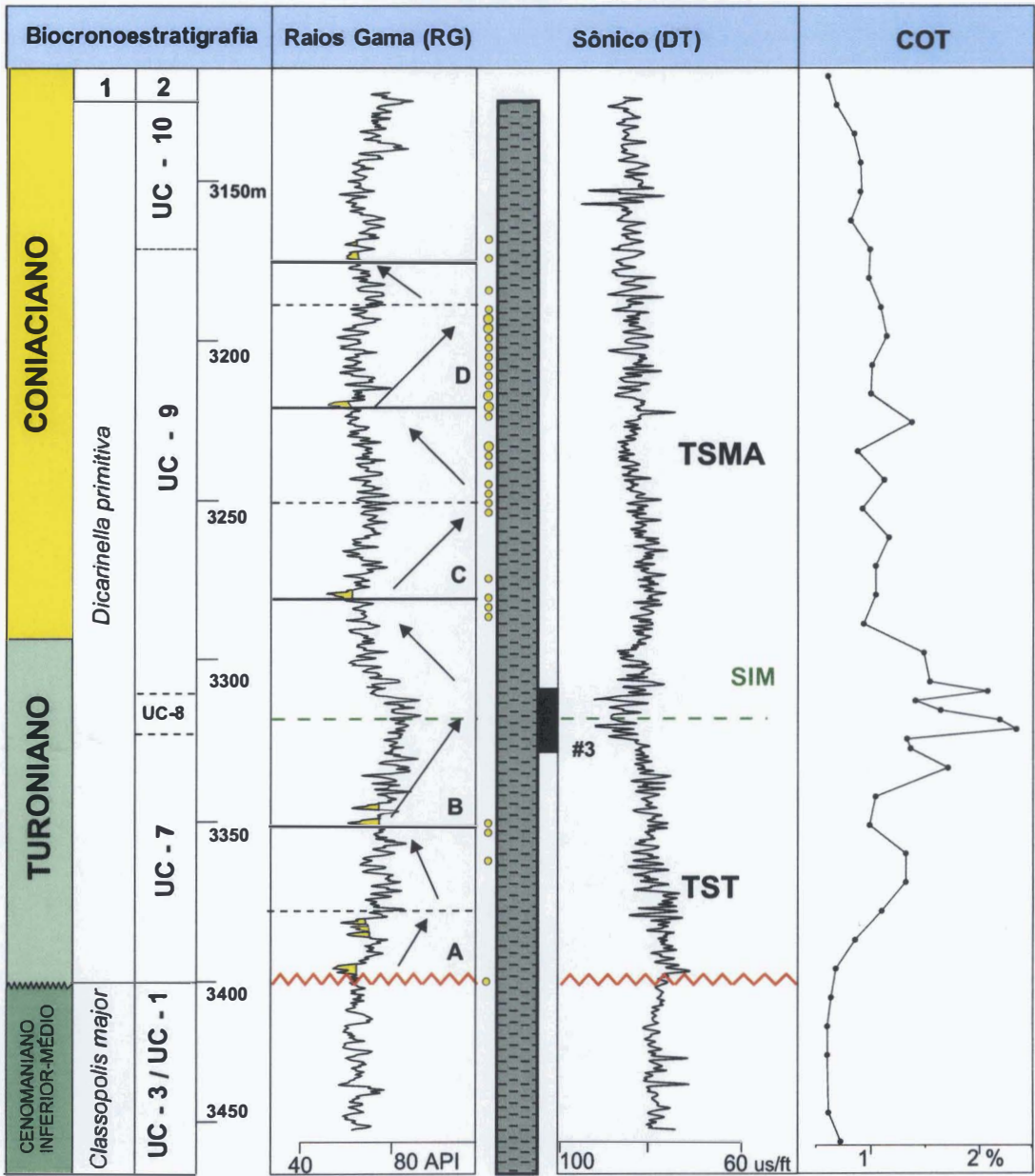
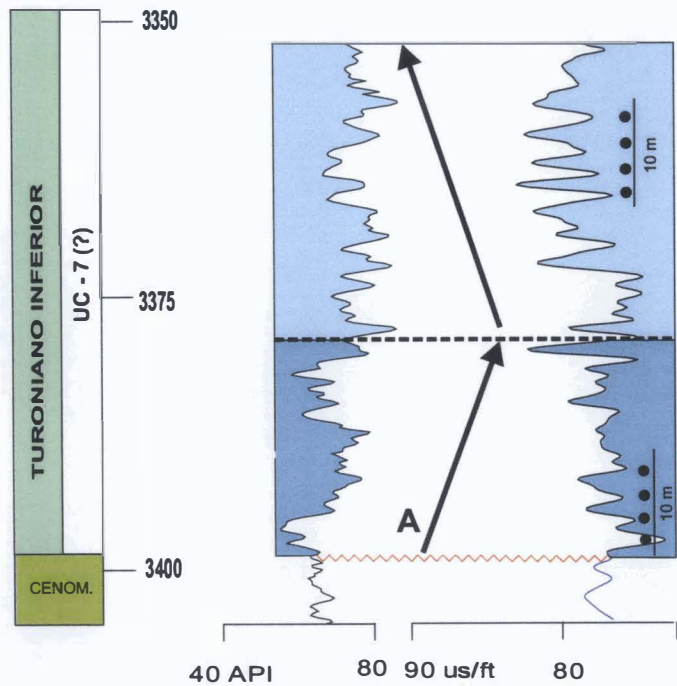


Figura 11.6 - Ciclos climáticos associados a excentricidade longa (410 ka) evidenciados na sequência turoniana do poço SA-1. Coluna 1 - Zonas de foraminíferos (*D. primitiva*) e palinomorfos (*Classopolis major*). Coluna 2- Zonas de nanofósseis.

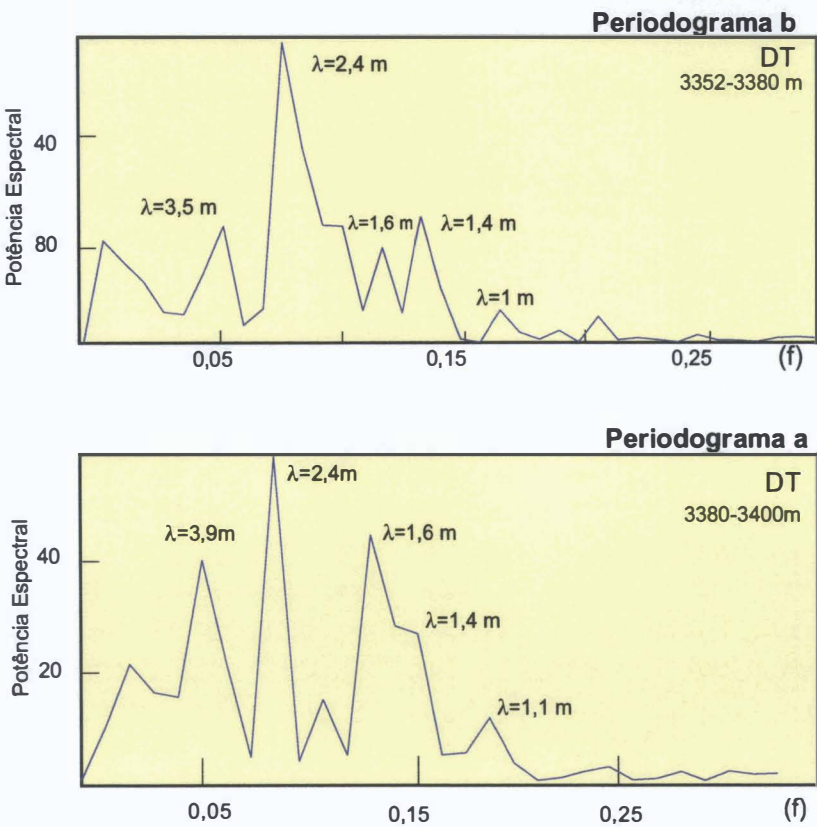
**Biocronoestratigrafia e ciclos assinalados nos perfis de raio gama (RG) e sônico (DT).**



**Taxa média de acumulação: 9,7 cm/ka**  
**Espessura do intervalo: 48 m**  
**Duração temporal : 0,49 Ma**

Figura 11.7 - Análise espectral, taxa média de acumulação e estimativa temporal do ciclo climático A. A análise espectral foi feita no perfil sônico suavizado com média móvel de 5 elementos, com peso maior no elemento central. Os ciclos de precessão estão identificados no perfil sônico por pontos pretos. As setas abaixo e acima da linha pontilhada assinalam o aumento e a redução de umidade, respectivamente.

**Análise espectral (FFT) e comprimento de onda ( $\lambda$ ) dos principais ciclos**



| CICLO A 3352-3380 e 3380-3400* m |               |                            |
|----------------------------------|---------------|----------------------------|
| Ciclo orbital (ka)               | $\lambda$ (m) | Taxa de acumulação (cm/ka) |
| 41                               | 3,5-3,9*      | 8,6-9,6*                   |
| 23                               | 2,4           | 10,7                       |
| 19                               | 1,6           | 8,6                        |



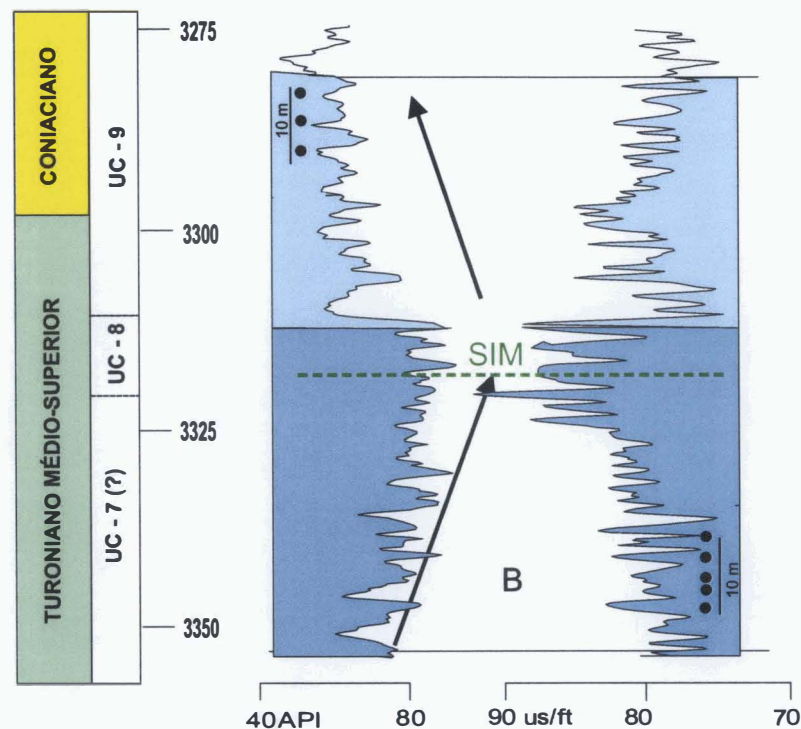
representativo da obliquidade ( $\lambda=3,9$  m) e os menores como da precessão ( $\lambda=2,4-1,6$  m), o que implica em taxas de acumulação que oscilam entre 8,6-10,7 cm/ka. No intervalo superior (3352-3380 m), evidencia-se praticamente os mesmos ciclos destacados na análise espectral do intervalo anterior (Fig. 11.7 - Periodograma b). Contudo, o ciclo associado à obliquidade é um pouco mais curto ( $\lambda=3,5$  m). Desta forma a taxa de acumulação média do intervalo completo é de 9,7 cm/ka (3352-3400 m; 48 m), sendo o ciclo A depositado em 0,49 Ma (Fig. 11.7).

Na análise espectral do perfil sônico intervalo inicial do ciclo climático B foram reconhecidos três grupos distintos de comprimentos de onda. O primeiro foi interpretado como relativo à obliquidade ( $\lambda=4-4,9$  m), e o segundo e o terceiro à precessão ( $\lambda=2,8$  e 2,1-1,5 m). A baixa definição dos ciclos deve-se, provavelmente, à grande oscilação da taxa de acumulação (Fig. 11.8 - Periodograma a); os periodogramas feitos a partir da curva RG para este intervalo também apresentaram resultados pouco precisos. O periodograma relativo ao intervalo superior destaca frequências similares as reconhecidas no intervalo anterior, porém com melhor definição. Os ciclos mais longos foram desconsiderados e os intermediários foram interpretados como relativos à obliquidade ( $\lambda=5,8-4,3$  m) e precessão ( $\lambda=2,4-2,1$  m e 1,3-1,5 m) (Fig. 11.8 - Periodograma b). Em função da taxa de acumulação média (12,5 cm/ka) e da espessura deste ciclo (74 m), pode-se estimar que ele foi depositado em 0,59 Ma.

As frequências mais baixas em destaque no periodograma relativo à parte inicial do ciclo climático C podem ser interpretadas como associadas à obliquidade ( $\lambda=4,9$  m), enquanto que as frequências mais elevadas em destaque correspondem à precessão ( $\lambda=2,1-1,5$  m) (Fig. 11.9 - Periodogramas a e b). Observa-se que o comprimento de onda do ciclo principal, relativo a precessão, possui o mesmo valor na parte inicial e final; No entanto os valores do ciclo de obliquidade são variáveis. O tempo estimado para a deposição desse intervalo (56 m) é de 0,52 ka, assumindo uma taxa média de acumulação de 10,8 cm/ka.

Na unidade D, foi feita somente uma análise espectral, abrangendo todo o ciclo. Nos periodogramas gerados a partir das curvas DT e RG estão em destaque ciclos de comprimento de onda de 2,9 – 1,9 m interpretados como relativos à precessão. Na curva DT observa-se em destaque um ciclo de comprimento de onda de 4,5 m, que talvez seja relativo à obliquidade. Contudo, a frequência relativa e este ciclo não ocorre em destaque na curva RG. Em ambas as curvas ocorrem um ciclo de 3,5 m que não foi a princípio associado a nenhum dos ciclos orbitais. A análise do ciclo D completo permitiu observar um ciclo de comprimento

**Biocronoestratigrafia e ciclos assinalados nos perfis de raio gama (RG) e sônico (DT).**

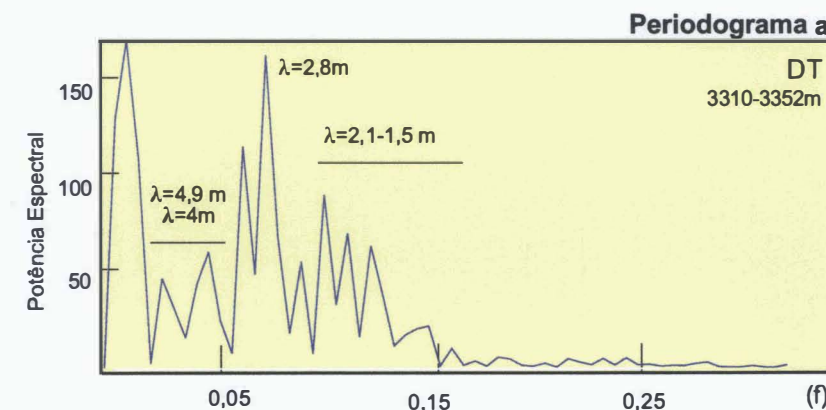
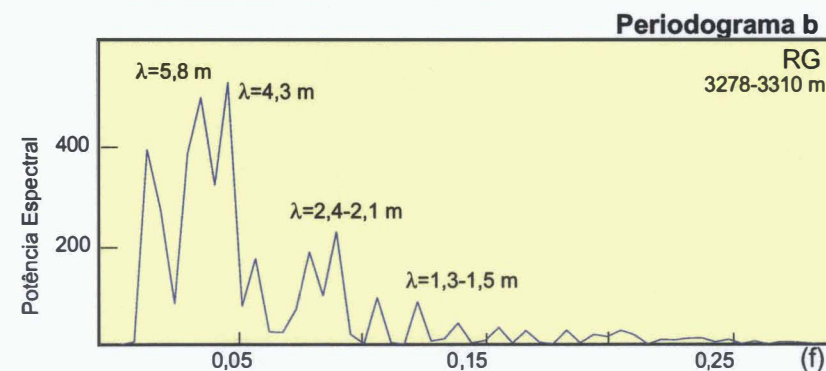


**Taxa média de acumulação: 12,5 cm/ka**

**ESpessura do intervalo: 74 m**

**Duração temporal : 0,59 Ma**

**Análise espectral (FFT) e comprimento de onda ( $\lambda$ ) dos principais ciclos**

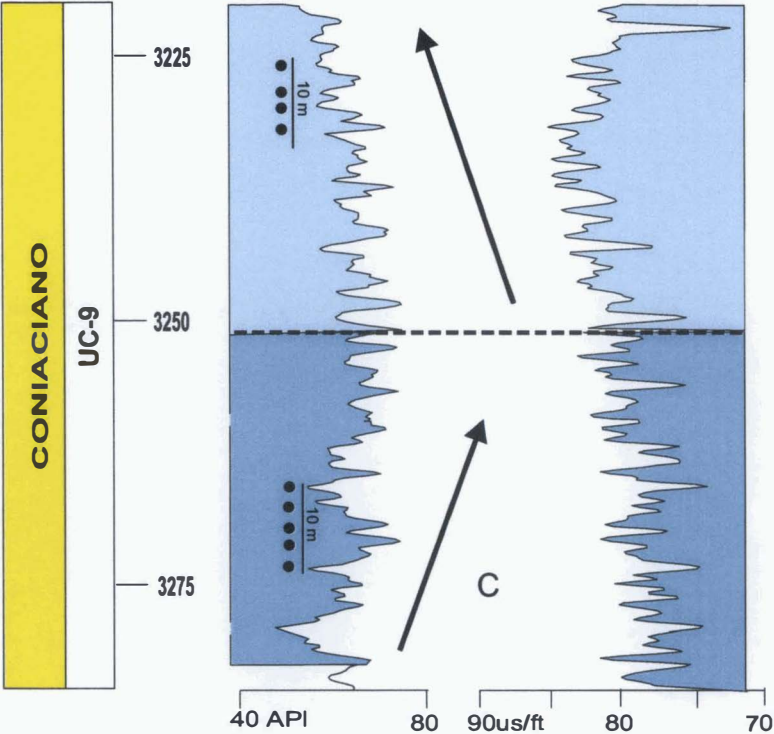


**CICLO B 3278-3310 e 3310-3352\* m**

| Ciclo orbital (ka) | $\lambda$ ( m ) | Taxa de acumulação (cm/ka) |
|--------------------|-----------------|----------------------------|
| 41                 | 5,8-4,9* m      | 14,2-12,0* m               |
| 23                 | 2,5-2,8* m      | 10,8-12,3* m               |
| 19                 | 2,2-2,1* m      | 11,5-11* m                 |

Figura 11.8 - Análise espectral, taxa média de acumulação e estimativa temporal do ciclo climático B. A análise espectral foi feita no perfil sônico e raio gama suavizado com média móvel de 5 elementos, com peso maior no elemento central. Os ciclos de precessão estão identificados no perfil sônico por pontos pretos. As setas abaixo e acima da linha pontilhada assinalam o aumento e a redução de umidade, respectivamente.

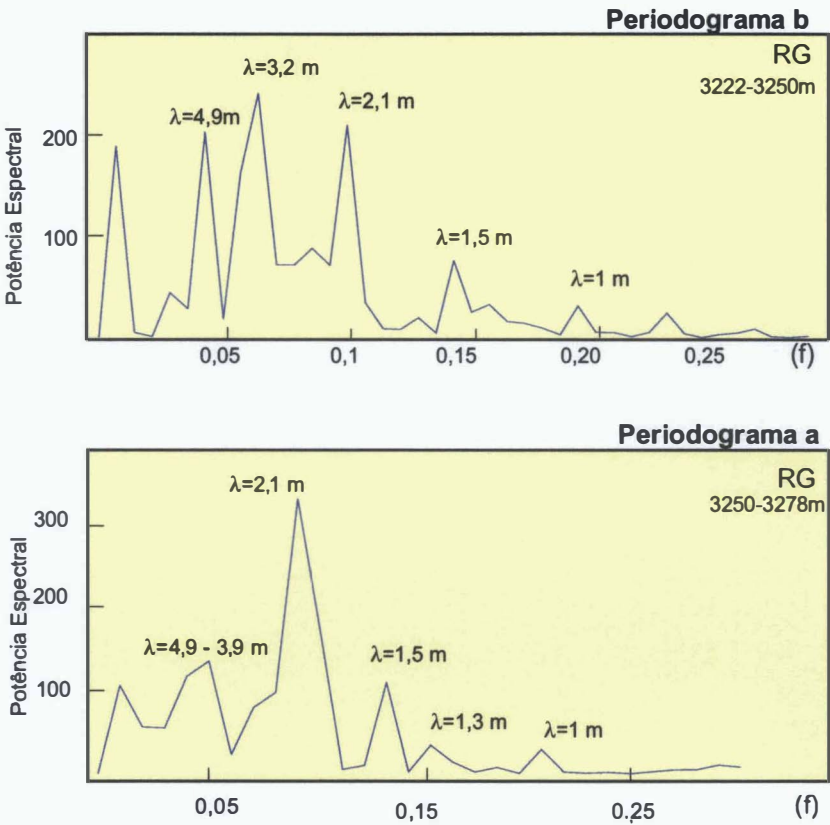
**Biocronoestratigrafia e ciclos assinalados nos perfis de raio gama (RG) e sônico (DT).**



Taxa média de acumulação: 10,8 cm/ka  
 ES espessura do intervalo: 56 m  
 Duração temporal : 0,52 Ma

Figura 11.9 - Análise espectral, taxa média de acumulação e estimativa temporal do ciclo climático C. A análise espectral foi feita no perfil raio gama suavizado com média móvel de 5 elementos, com peso maior no elemento central. Os ciclos de precessão estão identificados no perfil sônico por pontos pretos. As setas abaixo e acima da linha pontilhada assinalam o aumento e a redução de umidade, respectivamente. A análise da parte superior do ciclo não apresentou bons resultados e por isto não está ilustradas na figura.

**Análise espectral (FFT) e comprimento de onda ( $\lambda$ ) dos principais ciclos**



| CICLO C 3222-3250 e 3250-3278* m |               |                            |
|----------------------------------|---------------|----------------------------|
| Ciclo orbital (ka)               | $\lambda$ (m) | Taxa de acumulação (cm/ka) |
| 41                               | 4,9-3,9*      | 12-9,5*                    |
| 23                               | 2,1           | 11                         |
| 19                               | 1,5           | 11                         |

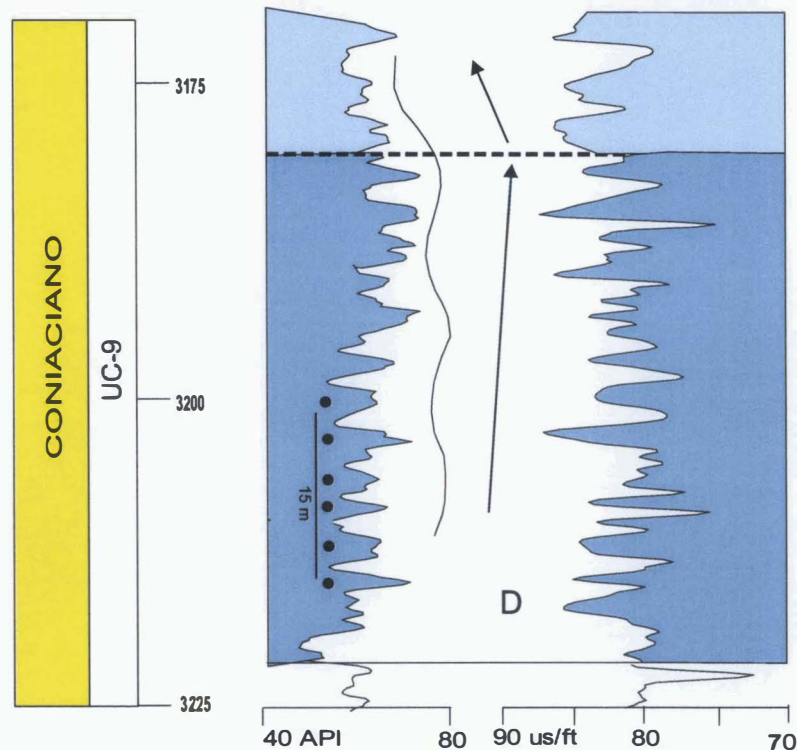
de onda compatível com o fenômeno de excentricidade curta na curva DT ( $\lambda=12,4$  m). Estima-se uma duração de 0,46 Ma para a deposição deste pacote de 52 m, utilizando-se uma taxa de acumulação média de 11,3 cm/ka (Fig. 11.10- Periodogramas a e b).

A análise espectral dos ciclos A e C completos, isto é, desconsiderando a subdivisão, permitiu identificar os ciclos relativos à excentricidade curta (100 ka). O periodograma referente à unidade B não apresentou bons resultados, o que de certa forma já era esperado, uma vez que a análise preliminar deste intervalo já havia detectado uma acentuada variação na taxa de acumulação. Na análise espectral dos ciclos A e C observam-se três grupos de frequências. O comprimento de onda dos ciclos de frequências intermediárias foram interpretados como relativos à obliquidade e precessão ( $\lambda=4,9 - 3,5$  m;  $2,2 - 1,9$  m). O grupo de frequências mais elevadas foi interpretado como associado ao ciclo de excentricidade curta ( $\lambda=12,4$  m). O comprimento destes ciclos e as taxas de acumulação são compatíveis com os resultados obtidos nas análises parciais dos ciclos climáticos. Detalhes sobre as espessuras dos ciclos e cálculo das taxas estão na figura 11.11.

Nos periodogramas dos intervalos correspondentes aos tratos de sistema transgressivo e de mar alto foram também identificadas frequências relacionadas aos fenômenos de precessão, obliquidade e excentricidade. Entretanto, nesta análise aparecem diversas outras frequências que aparentemente não se associam aos principais ciclos orbitais. Adicionalmente observa-se que os ciclos interpretados como relacionados aos ciclos orbitais destacam-se na forma de uma faixa de frequência com potência espectral elevada, ao invés de frequências individuais (Fig. 11.12). Este comportamento é mais acentuado para os ciclos de obliquidade e precessão, sendo produto da variação da taxa de acumulação ao longo destes intervalos relativamente longos (ver sub-capítulo 2.4.1; Fig. 2.1). O ciclo de comprimento de onda mais longo identificado nos periodogramas e interpretado como relativo à excentricidade longa (410 ka), possui o comprimento de onda variando de 44,8 m (TST)-54,8 m (TSMA), o que resulta em uma taxa de acumulação entre 13,3 e 10,9 cm/ka. Este resultado é bastante compatível com a espessura e a duração média dos 4 ciclos climáticos reconhecidos. A espessura média dos ciclos é de 57 m e tempo médio de deposição é de 0,51 Ma. Destaca-se ainda uma faixa de frequência que corresponde a ciclos de comprimento de onda entre 13,7-12,8 m interpretados como de excentricidade curta (taxas de acumulação variando de 13,7-12,8 cm/ka). Nesta análise de intervalos mais longos, a obliquidade está pouco destacada tanto no trato transgressivo como no de mar alto, possuindo o comprimento de onda oscilando entre

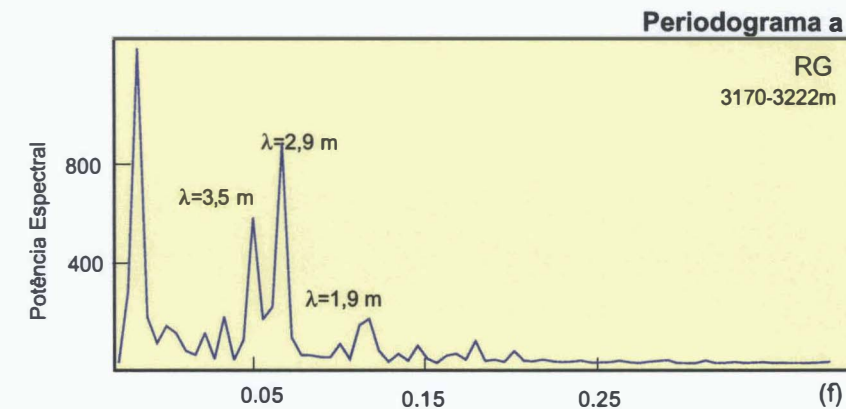
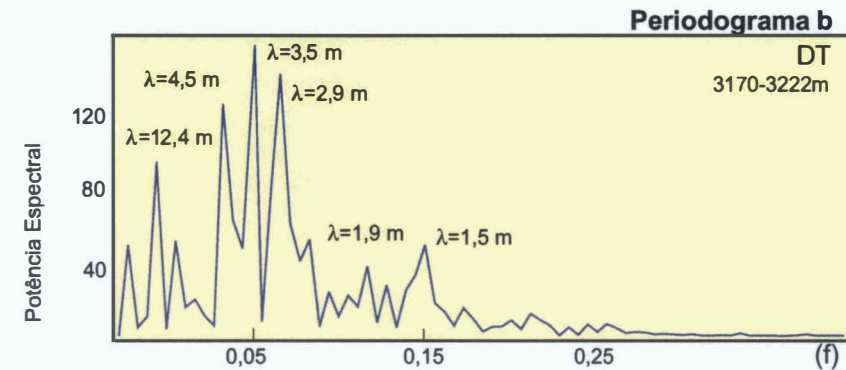


**Biocronoestratigrafia e ciclos assinalados nos perfis de raio gama (RG) e sônico (DT).**



**Taxa média de acumulação: 11,3 cm/ka**  
**Espessura do intervalo: 52 m**  
**Duração temporal : 0,46 Ma**

**Análise espectral (FFT) e comprimento de onda ( $\lambda$ ) dos principais ciclos**



| CICLO D 3170-3222 m |               |                            |
|---------------------|---------------|----------------------------|
| Ciclo orbital (ka)  | $\lambda$ (m) | Taxa de acumulação (cm/ka) |
| 100                 | 12,4          | 12,4                       |
| 41                  | 4,5           | 10                         |
| 23-19               | 2,9-1,9       | 12,6-10                    |

Figura 11.10 - Análise espectral, taxa média de acumulação e estimativa temporal do ciclo climático D. A análise espectral foi feita no perfis raio gama e sônico suavizados com média móvel de 5 elementos, com peso maior no elemento central. Os ciclos de precessão estão identificados no perfil de raio gama por pontos pretos e o de excentricidade curta pela curva. As setas abaixo e acima da linha pontilhada assinalam o aumento e a redução de umidade, respectivamente. A análise da parte superior do ciclo não apresentou bons resultados e por isto não estão ilustradas na figura.



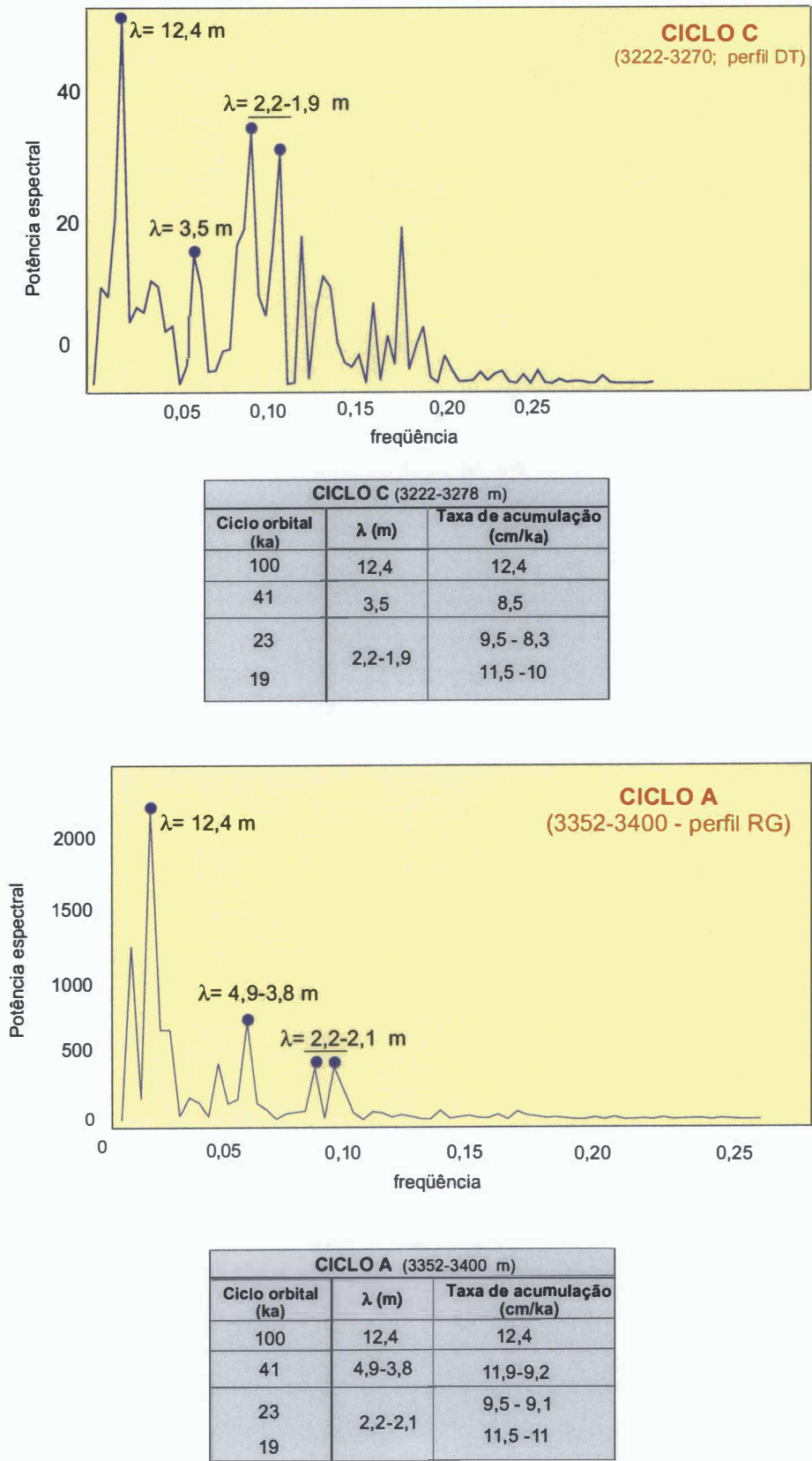
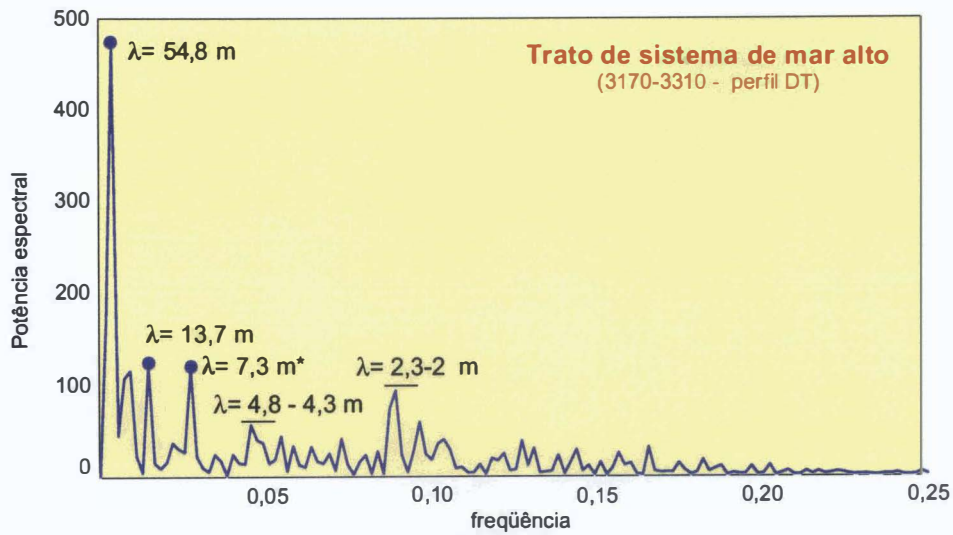
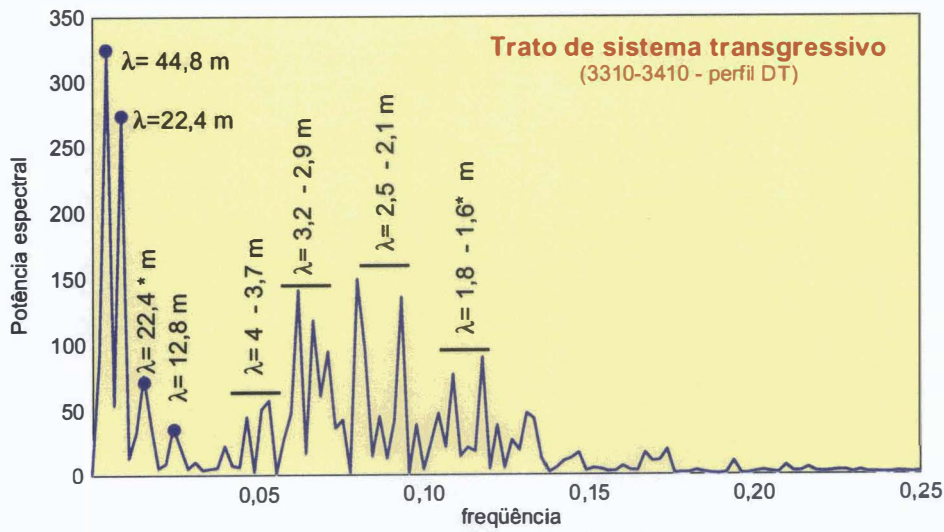


Figura 11.11 - Resultado das análises espectrais dos ciclos climáticos C e A completos.



| T SMA (3170-3310 m) |         |                            |
|---------------------|---------|----------------------------|
| Ciclo orbital (ka)  | λ (μ)   | Taxa de acumulação (cm/ka) |
| 410                 | 54,8    | 13,4                       |
| 100                 | 13,7    | 13,7                       |
| 41                  | 4,8-4,3 | 11,7 - 10,5                |
| 23                  | 2,3-2   | 10 - 8,6                   |
| 19                  |         | 12,1 - 10,5                |



| TST (3310-3410 m)  |         |                            |
|--------------------|---------|----------------------------|
| Ciclo orbital (ka) | λ (m)   | Taxa de acumulação (cm/ka) |
| 410                | 44,8    | 10,9                       |
| 100                | 12,8    | 12,8                       |
| 41                 | 4-3,7   | 9,7 - 9                    |
| 23                 | 3,2-2,9 | 13,9 - 12,6                |
| 19                 | 2,5-2,1 | 13,1 - 11,0                |

Figura 11.12 - Análise espectral dos tratos de sistema transgressivo e mar alto. Os ciclos assinalados com asteriscos não apresentam relação aparente com os ciclos de Milancovitch.

4,8 – 3,7 m (taxas de acumulação de 11,7 a 9 cm/ka). O ciclo precessional de 23 ka encontra-se bem representado, principalmente no trato de sistema transgressivo (23 ka:  $\lambda=3,2-2,9$  m, taxa de acumulação 13,9-12,6; 19 ka:  $\lambda=2,5-2,1$  m, taxas de acumulação 13,7-11 cm/ka). No trato de mar alto a precessão é representada por um ciclo de espessura de 2-2,3 m. Os resultados das taxas de acumulação calculadas em função das interpretações sobre a duração dos ciclos encontram-se na figura 11.12.

A análise cicloestratigráfica foi realizada em uma seção compreendida pelas biozonas UC-7, UC-8 e UC-9. Dependendo da porcentagem da Zona UC-7 que foi erodida, este intervalo, em tempo, equívale a cerca de 3-3,5 Ma. A análise cicloestratigráfica sugere que este intervalo represente somente cerca de 2 Ma. A diferença, cerca de 1 Ma, deve estar associada à condensação da Zona UC-8. A condensação desta unidade, além de ter sido evidenciada em outros poços (DSDP-356, DSDP-364 e DSDP-530A), é visível pela comparação entre as espessuras das biozonas UC-7, UC-8 e UC-9. Enquanto que as zonas UC-9 e UC-7 possuem espessuras da ordem de várias dezenas de metros, a UC-8 restringe-se a cerca de 12 m. Corrobora esta interpretação os altos valores de COT e RG, coincidentes com a profundidade na qual esta zona foi reconhecida. Adicionalmente, a análise de ciclicidade sugere uma grande variação na taxa de acumulação no intervalo B, provavelmente, reflexo de uma diminuição brusca da taxa de acumulação no intervalo condensado. A identificação dos ciclos neste intervalo utilizando os perfis geofísicos é difícil devido ao pequeno comprimento de onda. Assumindo uma taxa de acumulação de 0,85 cm/ka (12 metros depositados em 1,4 Ma), o ciclo de excentricidade curta teria uma espessura inferior a 1 m.

Por outro lado, a ausência da Biozona UC-7 neste poço também tornaria compatível a estimativa temporal obtida pelos dados bioestratigráficos e cicloestratigráficos. Esta hipótese é possível uma vez que a ocorrência da espécie que assinala a base da Zona UC-8 é muito esporádica. Assumindo-se esta hipótese como verdadeira e, dependendo da porção da Zona UC-8 que foi preservada, os dados bioestratigráficos sugerem que o intervalo compreendido entre a discordância basal da seqüência e o topo da Zona UC-9 representa cerca de 2-2,2 Ma. Neste caso, a pequena diferença em relação à estimativa proveniente da análise cicloestratigráfica seria causada pela redução da taxa de acumulação durante a deposição dos folhelhos da Biozona UC-8.

## 11.5 A ORIGEM DOS CICLOS

Inicialmente procurou-se identificar, no testemunho, padrões oscilatórios nos dados paleontológicos e geoquímicos que explicassem as variações faciológicas e o padrão periódico observados nas curvas de raio gama e sônico. Nenhum dos parâmetros geoquímicos (COT,  $\text{CaCO}_3$ ,  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{18}\text{O}$ ) apresentam um padrão oscilatório bem definido ou diretamente associado às mudanças faciológicas. Porém, os ciclos reconhecidos nas curvas de RG e DT relacionam-se às variações faciológica. A curva de raio gama obtida no testemunho (*core gamma*) também retratar estas variações faciológicas, sobretudo quando suavizada. Os valores mais baixos coincidem com os intervalos laminados (Fig. 11.5). Este comportamento, provavelmente, resulta do aumento de carbonato e da diminuição relativa de argilosidade e MO nestes intervalos.

O comportamento do conteúdo de nanofósseis ao longo do testemunho não retrata eventos cíclicos de dissolução ou produtividade. Entretanto o domínio das espécies do grupo Polycyclolithaceae e *Watznaueria* sugere que a dissolução é bastante acentuada em todo o testemunho; porém com intensidade variável. Estas mudanças podem ser inferidas pela relação quantitativa entre a espécie *W. barnesae* e o gênero *Eprolithus*. Quando a dissolução é moderada ambos ocorrem em grande quantidade; contudo, em situações de dissolução extrema restam exclusivamente poucos exemplares de *W. barnesae*.

A alternância de fácies laminadas e maciças segundo uma periodicidade compatível com os ciclos de Milankovitch pode ser associada às variações de produtividade de carbonato e MO, sobretudo na parte mais proximal da plataforma. Assumindo que o depósito sedimentar estudado é em grande parte produto de material transportado da plataforma média-externa para a região do talude, a quantidade de foraminíferos e invertebrados, principal constituinte das lâminas carbonáticas, deve ter variado na área fonte. Mesmo considerando que a seleção e o transporte destes fósseis é controlado por fatores hidrodinâmicos, a produção deste organismos depende da turbidez das águas, disponibilidade de nutrientes e oxigênio. Assim, acredita-se que os ciclos A, B, C e D são ciclos de excentricidade longa. Na base de cada um destes ciclos o aumento acentuado do influxo continental deve ter propiciado a deposição de sedimentos mais grossos. A gradativa diminuição da granulometria e o aumento do aporte de nutrientes, causam um incremento da

produtividade primária, formando camadas ricas em MO de origem marinha e organismos planctônicos não carbonáticos.

Durante a fase mais seca formam-se as fácies laminadas, constituídas por abundantes organismos calcários. O aporte de sedimentos mais grossos sofre uma redução e os depósitos passam a ser dominados por sedimentos pelágicos ou hemipelágicos muito finos. Durante os períodos mais úmidos ocorre uma diluição dos organismos carbonáticos planctônicos, devido ao maior aporte de argila. Os ciclos de excentricidade curta, obliquidade e precessão, representam oscilações de períodos secos e úmidos em uma frequência mais elevada. Mesmo as lâminas ricas em MO intercaladas as lâminas carbonáticas podem ser associadas a oscilações climáticas de altíssima frequência durante períodos predominantemente secos.

Deste modo, a superfície erosiva que delimita a base da sequência, e a sucessão faciológica que caracteriza os tratos de sistema transgressivo e de mar alto, foram produzidos por variações relativas do nível do mar. Entretanto, os ciclos com aspecto “retrogradacional-progradacional” foram controlados pela alternância de períodos úmidos e secos.

Os dados de nanofósseis e foraminíferos (principal constituinte da fração carbonática mais fina) pouco esclarecem sobre a origem dos ciclos, provavelmente porque essas associações foram intensamente alteradas por fenômenos pós-deposicionais, não guardando praticamente nenhuma informação paleoecológica que possa sugerir com detalhe as condições oceanográficas primárias.



## PARTE IV- CICLOESTRATIGRAFIA DE DEPÓSITOS CARBONÁTICOS

### 12. BACIA DE SERGIPE

A Bacia de Sergipe, localizada no nordeste do Brasil, na plataforma continental brasileira, apresenta na sua parte emersa uma extensa área aflorante de rochas carbonáticas do Cretáceo Superior (Fig. 12.1). A origem desta bacia está relacionada à ruptura da placa Africana-Sulamericana, evoluindo desde uma fase pré-rift, provavelmente no Jurássico, até um estágio “*drift*” iniciado no término do Aptiano. Estudos detalhados sobre a história geológica desta bacia podem ser encontrados nos trabalhos de Schaller (1969), Bandeira (1978) e Bengtson (1983), entre outros. A seqüência carbonática cenomaniense-coniaciana, denominado de Formação Contiguiba (Fig.12.2), objeto deste estudo, possui uma área aflorante paralela à linha de costa, com cerca de 200 km de comprimento (SW-NE) por 15 km de largura (SE-NW). Este pacote possui em média 200 m de espessura, podendo atingir mais de 800 m, sendo constituído predominantemente por pares margalutito, ocorrendo localmente calcarenitos finos, coquinas ou brechas intraformacionais. A maior parte dos carbonatos desta seqüência é produtos da erosão de depósitos de águas rasas, redepositados em águas mais profundas (Koutsoukos *et al.*, 1993).

A origem dos pares margalutito do Turoniano desta bacia tem sido relacionada a oscilações sazonais climáticas moduladas pelas variações orbitais da Terra. Segundo Koutsoukos *et al.* (1993) e Carmo (1997), nos períodos de clima seco seriam formadas as rochas mais ricas em  $\text{CaCO}_3$  e pobres em MO; já nos períodos úmidos, a produção e deposição de carbonatos seria inibida devido ao maior aporte de sedimentos silteico-argilosos, formando-se os estratos mais argilosos e ricos em MO. Partindo das idéias propostas por estes autores decidiu-se realizar um estudo cicloestratigráfico nos carbonatos do Turoniano da Bacia de Sergipe com base em dados paleontológicos, geoquímicos, perfis geofísicos (raio gama e sônico) e litofaciológicos.



Figura 12.1 - Mapa de localização dos poços e pedreiras estudados na Bacia de Sergipe.

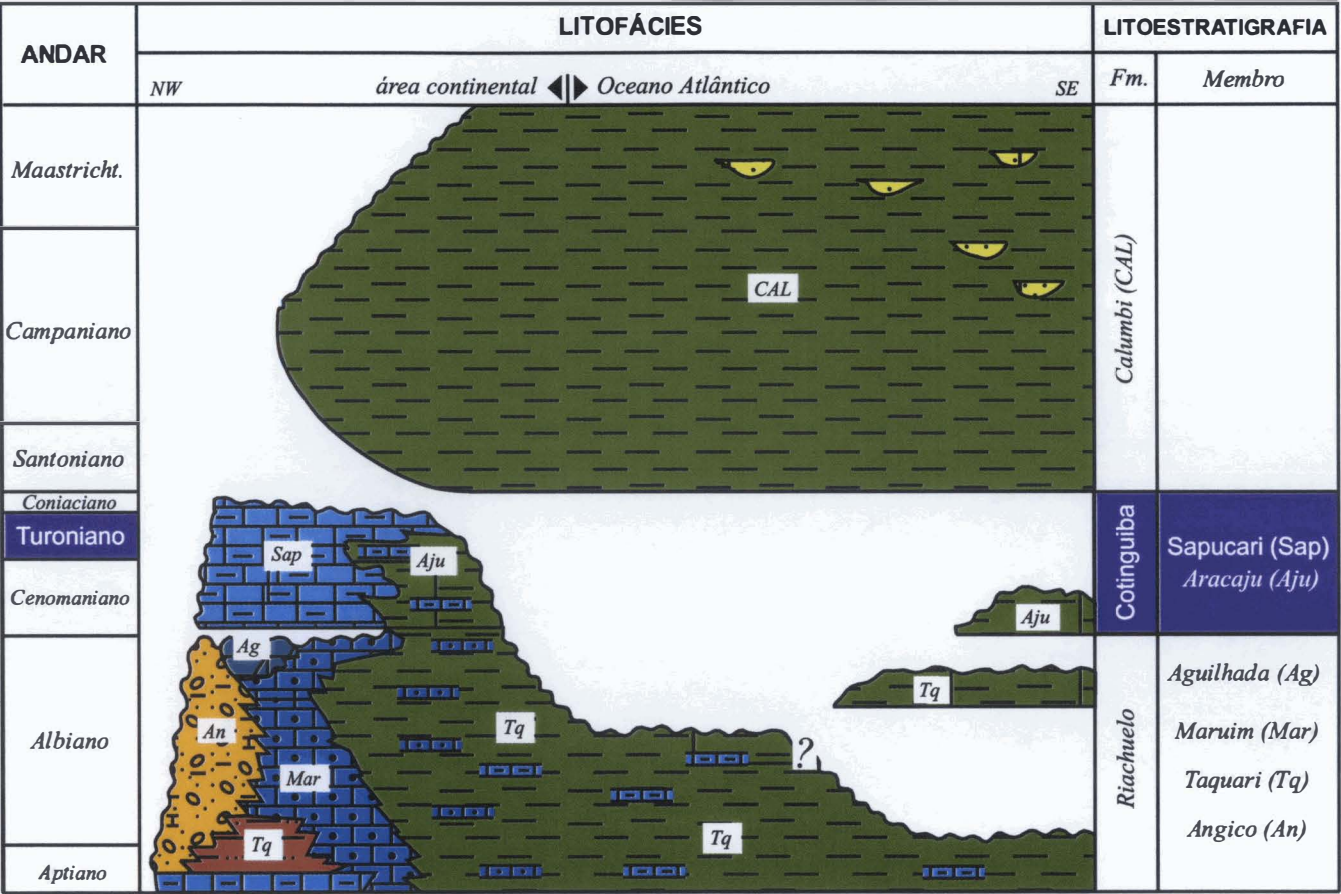


Figura 12.2 - Carta estratigráfica do Cretáceo médio-Superior da Bacia de Sergipe (Koutsoukos, 1989).

## 12.1 ÁREA ESTUDADA

Foram selecionados dois poços exploratórios da PETROBRAS e duas áreas aflorantes, as pedreiras Votorantim e Rita Cacete, abrangendo duas diferentes fácies de seqüências carbonáticas rítmicas (Fig. 12.1). Uma das fácies apresenta um aspecto várvido, com laminação milimétrica, e a outra um padrão de acamamento centimétrico. A Pedreira Votorantim exibe uma extensa área aflorante de calcários que vêm sendo estudados intensivamente nos últimos anos sob o enfoque geoquímico e paleontológico (Bengtson, 1983; Hessel, 1988; Koutsoukos, 1989; Carmo, 1997). A outra pedreira, Rita Cacete, possui uma área exposta bem menor e dispõe de poucos estudos (Bengtson, 1983; Koutsoukos, 1989; Seeling, 1999). As fácies dominante destas duas exposições são muito similares e representam a principal fácies aflorante da formação Contiguiba: calcilutitos com alternância de camadas cuja coloração varia do cinza claro ao cinza escuro, com espessuras variando de 1 a 50 cm. Os poços selecionados (SE-1 e SE-2) recuperaram em testemunhos uma fácies com aspecto “várvido”, de cor bege ou cinza, interrompida por lâminas milimétricas escuras muito finas e contínuas, que se agrupam formando camadas centimétricas escuras. Esta fácies é praticamente inexistente em afloramentos, porém encontra-se muito bem representada no poço SE-1, possuindo cerca de 700 m de espessura.

## 12.2 APRESENTAÇÃO DOS DADOS

Nas seções selecionadas foram realizadas análises geoquímicas e paleontológicas. Os dados geoquímicos utilizados foram: COT,  $\text{CaCO}_3$  e razões isotópicas de carbono e oxigênio em carbonatos ( $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{18}\text{O}$ ). As análises paleontológicas concentraram-se em estudos qualitativos de foraminíferos planctônicos, bentônicos e nanofósseis calcários. Foram ainda considerados os perfis geofísicos de raio gama e sônico dos poços e as principais descrições litofaciológicas.

Nas amostras coletadas a cada 20 cm ou 30 cm nas paredes na Pedreira Rita Cacete, por um testemunhador mecânico foram realizadas análises qualitativas dos nanofósseis, foraminíferos e análises geoquímicas em rocha total de COT,  $\text{CaCO}_3$  (por calcimetria),  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{18}\text{O}$  em carbonatos (Fig. 12.3). As amostras foram coletadas

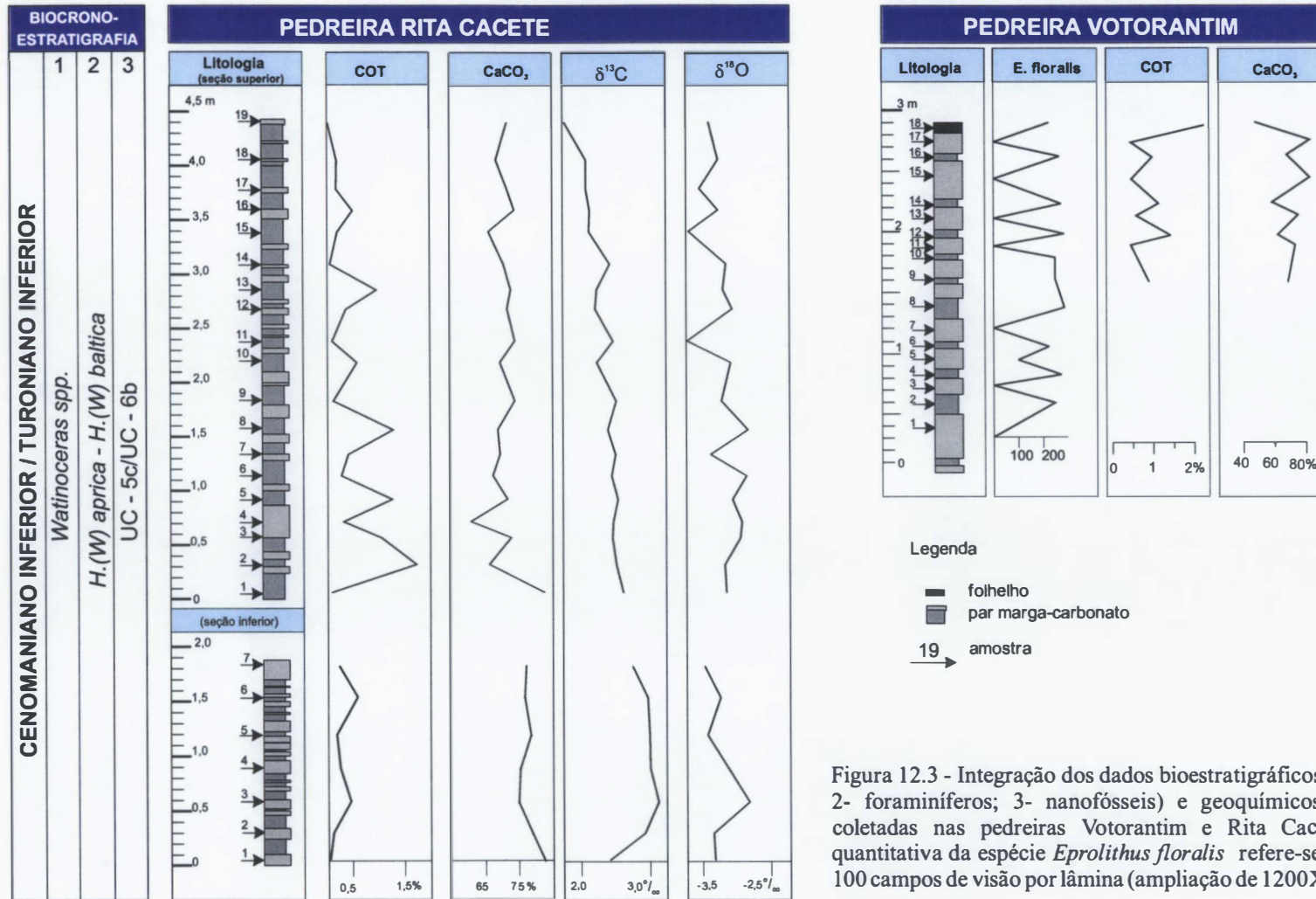


Figura 12.3 - Integração dos dados bioestratigráficos (1-amonóides; 2- foraminíferos; 3- nanofósseis) e geoquímicos das amostras coletadas nas pedreiras Votorantim e Rita Cacete. A análise quantitativa da espécie *Eprolithus floralis* refere-se à contagem de 100 campos de visão por lâmina (ampliação de 1200X).



seqüencialmente em dois perfis, o inferior com cerca de 2 m e o superior com 4,5 m. Foram utilizados dados de  $\delta^{13}\text{C}$  da MO e análises do conteúdo microfaunístico referentes à amostras coletadas em um trabalho de campo realizado em Abril de 1991 em uma posição estratigráfica intermediária.

Na Pedreira Votorantim foi descrita uma seção com cerca de 19 m, embora a coleta de amostras para as análises de nanofósseis e foraminíferos tenha se limitado à porção superior desta seção. No intervalo detalhado a espécie *Eprolithus floralis*, por ser a mais abundante, foi quantificada com precisão. Contou-se o número de indivíduos desta espécie em 100 campos de visão por lâmina. O conteúdo de foraminíferos e outros microfósseis foram estimados subjetivamente. A análise geoquímica restringiu-se à determinação do teor de teor de COT e  $\text{CaCO}_3$  (a partir do resíduo insolúvel). O intervalo detalhado possui cerca de 3 m, tendo sido coletada uma amostra por camada (Fig. 12.3).

No poços SE-1 foram utilizados os dados de isotópos ( $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{18}\text{O}$ ), COT e  $\text{CaCO}_3$  (resíduo insolúvel) disponíveis, que em média representam uma análise por testemunho de 1-2 m, recuperado a cada 20 m entre as profundidades de 138-849 m. Foram realizadas análises petrográficas e duas avaliações qualitativas do conteúdo de nanofósseis em cada testemunho.

Os resultados das análises do poço SE-2 são similares a do poço SE-1, contudo, menos precisos, como reflexo da esparsa amostragem deste poço. Trabalhou-se com quatro testemunhos com cerca de 1,5 m, recuperados nas profundidades de 296 m, 402 m, 450 m e 520 m, e amostras de calha entre 30-129 m. Adicionalmente foi realizado um estudo petrográfico nas fácies mais características, incluindo uma determinação do tipo de MO.

As análises espectrais foram feitas nos perfis geofísicos (raio gama e sônico) dos poços SE-1 e SE-2, e nos dados da curva do índice colorimétrico do testemunho #9 do poço SE-1.

### 12.3 BIOESTRATIGRAFIA

As pedreiras Votorantim e Rita Cacete tiveram seu posicionamento biocronoestratigráfico estabelecido considerando-se a sucessão de amonóides (Bengtson, 1983) e foraminíferos (Koutsoukos, 1989). A pedreira Votorantim encontra-se adicionalmente

datada por inoceramídeos (Hessel, 1988). Para Bengston (1983), ambas as pedreiras pertencem ao intervalo informalmente designado pelo autor de Turoniano 2 (zonas de *Watinoceras amudariense*-*Kamerunoceras seitzii* e *Mammmites nodosoides*-*Kamerunoceras turoniense*), correlacionável ao Turoniano inferior. Para Koutsoukos & Bengston (1993), ambas as seções pertencem à zona de foraminíferos planctônicos *Hedbergella (Whiteinella) aprica* - *Hedbergella (Whiteinella) baltica* e amonóides *Watinoceras* spp. Segundo estes autores as zonas de inoceramídeos *Mytiloides mytiloides* e *Mytiloides hercynicus* reconhecidas por Hessel (1988) confirmam a idade estabelecida. Segundo Seeling (1999), que estudou os fósseis de invertebrados da Pedreira Rita Cacete, esta seção pertence ao Cenomaniano Superior-Turoniano inferior. Segundo o autor a fauna recuperada sugere que o ambiente deposicional é de plataforma externa. Dos dois poços trabalhados nesta tese, somente o SE-2 foi estudado anteriormente. As associações de foraminíferos reconhecidas neste poço por Koutsoukos (1989) sugerem idade turoniana.

As indicações cronoestratigráficas obtidas neste estudo para as pedreiras Votorantim e Rita Cacete são coerentes com os dados publicados. Na Pedreira Rita Cacete, apesar do escasso conteúdo nanofossilífero, todas as espécies identificadas indicam que o intervalo está posicionado entre a última ocorrência de *Axopodorhabdus albianus* e primeira ocorrência de *Eprolithus eptapetalus*, sendo portanto restrito às subzonas UC-5c e UC-6a de idade neocenomaniana-eoturoniana. A microfauna recuperada é relativamente pobre, tanto em diversidade quanto em quantidade. As seguintes espécies de foraminíferos foram assinaladas: *Gavelinella reussi*, *Guemberlitria cretacea*, *Gavilinella dakotensis*, *Guemberlitria* spp., *Turrisoirillina spirillina*, *Hedbergella delrioensis*, *Heterohelix* cf. *reussi*, *Conorboides* ex gr. *minutissima*; ocorrem ainda com menor frequência radiolários esféricos calcificados. Esta associação, de modo similar ao nanofósseis, sugere que o intervalo amostrado está próximo ao limite basal do Turoniano. O intervalo analisado na pedreira Votorantim, apesar de pouco espesso, é caracterizado por um conteúdo fossilífero abundante, pouco diversificado, tanto para nanofósseis como para foraminíferos. A assembléia de nanofósseis é composta principalmente por *Eprolithus floralis*, *Watznaueria barnesae*, *Eiffellithus turriseiffelli*, *Eprolithus eptapetalus* e *Radiolithus planus*. As ausências de *Eiffellithus eximius* e *Quadrum gartneri*, associado a presença de *E. eptapetalus* indicam que o intervalo amostrado relaciona-se à Subzona UC-6b (Anexo 10). As datações feitas por nanofósseis confirmam os resultados obtidos pelos outros métodos (Bengston, 1983; Koutsoukos, 1989; Hessel, 1988); porém

permitem posicionar mais precisamente o intervalo estudado no Turoniano inferior. A microfauna é dominada por radiolários esféricos com escassos foraminíferos, ostracodes e restos de peixes. A associação de foraminíferos é similar à reconhecida na Pedreira Rita Cacete, com exceção da presença dominante da espécie *Turrispirillina subconica*.

O poço SE-1 teve examinado somente o seu conteúdo de nanofósseis calcários. A base da seqüência é praticamente estéril (597-726 m). Contudo, a seção entre o testemunho #18 (509-511m) e o topo da seqüência (138 m) apresentou bons resultados (Anexo 11). A seqüência estudada neste poço é limitada no topo e na base por discordâncias erosivas. A seqüência inferior pertencente à Formação Riachuelo (testemunho #27; 849 m), caracterizada por calcarenitos de idade albiana. A base dos calcilutitos, já na Formação Contiguiba, é provavelmente de idade neocenomaniana. Sobreposta à seqüência estudada, cujo topo posiciona-se no Turoniano médio-superior, encontram-se depositados discordantemente os folhelhos da Formação Calumbi, de idade santoniana. O intervalo Turoniano abrange as zonas de nanofósseis UC-6, UC-7, UC-8, UC-9 e, provavelmente, na base, a Subzona UC-5c.

A seqüência do poço SE-2, encontra-se também limitada na base e no topo por discordâncias. A seqüência inferior é cenomaniana basal, e a superior campaniana. Os dados bioestratigráficos de foraminíferos (Koutsoukos, 1989) e nanofósseis posicionam o intervalo estudado no Turoniano, correspondente às zonas de foraminíferos *H. (W.) aprica*-*H. (W.) baltica* e *D. primitiva* e às zonas na nanofósseis UC-9/UC-6 (Anexo 12).

## 12.4 CARACTERIZAÇÃO FACIOLÓGICA

Na Pedreira Votorantim a seqüência descrita caracteriza-se predominantemente por uma sucessão de camadas de espessura variável entre 1 e 50 cm, onde se alternam pacotes de carbonatos muito finos, de coloração cinza claro a cinza escuro, como reflexo do teor variável de argila e MO (Foto 12.1). O limite inferior da sucessão sedimentar é uma superfície erosiva, sobre a qual encontram-se brechas intraformacionais. Sobre esta se assentam calcilutitos rítmicos e margas. Estas rochas apresentam uma gradação normal e localmente “*climbing ripples*”, no topo. São freqüentes as superfícies de “*hardground*”, formadas pela intensa bioturbação de calcilutitos ou calcarenitos muito finos. No topo da seção os calcarenitos se tornam gradativamente mais escassos, até desaparecerem. Esta fácies tem sido descrita por

vários autores e interpretada como depósitos associados a calciturbiditos de baixa energia, depositados na parte distal (batial) de um sistema carbonático do tipo “rampa” (Koutsoukos, 1989; Koutsoukos *et al.* 1993). Contudo, são raros ou não há registro da parte mais proximal desta rampa carbonática. As superfícies de “*hardground*” são interpretadas como seções condensadas durante períodos de inundação máxima, e as brechas como o produto de eventuais “*slumps*” causados por reativações de falhas de pequeno porte (Koutsoukos, 1989; Koutsoukos *et al.*, 1993). Petrograficamente dominam os “*mudstones*” ou “*wackstones*” com quantidades variáveis de pitonélídeos, foraminíferos e fragmentos de invertebrados. Descrições petrográficas detalhadas podem ser encontradas em Berthou & Bengtson (1988).

A sucessão sedimentar descrita na pedreira Rita Cacete assemelha-se com aquelas observada na pedreira Votorantim. Contudo, é mais monótona, pois não ocorrem calcarenitos, brechas ou superfícies de “*hardground*”. São camadas cinza claro-cinza escuro que se sucedem de modo mais sutil, chegando, localmente, a apresentar aspecto maciço (Foto 12.2). Petrograficamente dominam os “*mudstones*”, sendo constituída de quantidades variáveis de foraminíferos e radiolários esféricos com escassos fragmentos de invertebrados. Observa-se ainda, intensa dolomitização da micrita com grande quantidade de cristais euédricos de dolomita. Os romboédros de dolomita são zonados e apresentam evidências de dissolução. Existe uma grande similaridade das características petrográficas destas dolomititas com as observadas por Marçal (1993) nos calcarenitos albianos da Bacia de Sergipe. Apesar do contexto deposicional distinto, e das diferenças litológicas, existem indicações que os processos de dolomitização de ambos foi similar. Segundo a autora, o processo de dolomitização ocorreu em subsuperfície devido ao influxo de águas provenientes de aquíferos meteóricos. Os sistemas de fraturas e falhas serviram de dutos para a entrada das águas meteóricas. Dentre os modelos de dolomitização descritos na literatura (Tucker & Wrigth, 1990) este parece ser o mais adequado às feições petrográficas e o contexto deposicional dos carbonatos da Formação Contiguiba.

Nos poços SE-1 e SE-2 ocorre predominantemente uma fácies de aspecto várvido, caracterizada por calcilutitos de coloração cinza ou bege, com lâminas milimétricas contínuas, de coloração escura (Fotos 12.3 e 12.4). No caso do poço SE-2 foi amostrada exclusivamente esta fácies. Já na base e no topo do poço SE-1 ocorrem calcilutitos maciços com fragmentos de fósseis e intensidade de bioturbação variável (Foto 12.5). A passagem da fácies maciça para a laminada é transicional. A laminação torna-se gradativamente mais organizada, com

lâminas mais contínuas e menos deformadas, na medida que a bioturbação desaparece (Foto 12.6). Estes ciclos se repetem até o estabelecimento definitivo da fácies laminada. A fácies bioturbada constituem-se em *wackstones* com abundantes fragmentos de invertebrados e presença esporádica de radiolários esféricos e foraminíferos, sendo interpretada como uma fácies de águas relativamente rasas. As fácies laminadas são *mudstones* e *wackstones* com foraminíferos e radiolários esféricos, e eventuais fragmentos de invertebrados, normalmente orientados e recristalizados (Foto 12.7 e 12.8). Interpreta-se esta fácies como calciturbiditos de baixa energia que receberam contribuições pelágicas. A petrografia orgânica das lâminas escuras demonstra que elas são constituídas por MO amorfa muito oxidada de maturação incipiente (Araújo, 2000; Foto 12.9). Na transição da fácies maciça para a laminada, as lâminas são freqüentemente interrompidas por pequenas fraturas, associadas a brechas intraformacionais (Fotos 12.10 e 12.11).

## 12.5 CICLOESTRATIGRAFIA

A idéia de associar a origem das fácies laminadas e acamadadas da Formação Contiguiba a ciclos climáticos-orbitais vem sendo feito há algum tempo (Koutsoukos, 1989; Koutsoukos *et al*, 1993; Carmo, 1997; Carmo & Pratt, 1999). Contudo, não há nenhuma abordagem quantitativa, fundamentada em análises espectrais, que sustente esta tese e estabeleça parâmetros quantitativos relativos à duração dos ciclos e as taxas de acumulação. Procurando preencher esta lacuna, foram realizadas análise espectrais nos perfis geofísicos de raio gama e sônico dos poços SE-1 e SE-2, e no índice colorimétrico do testemunho #9 do poço SE-1. A observação qualitativa da variação cíclica dos dados geoquímicos e paleontológicos obtidos nas amostras coletadas nos afloramentos auxiliou a compreensão da origem dos ciclos; contudo, devido ao número reduzido de dados desta natureza não foi possível realizar uma análise espectral.





Foto 12.1 - Aspecto geral dos ritmitos da Pedreira Votorantim.



Foto 12.2 - Aspecto geral dos ritmitos da Pedreira Rita Cacete.





Foto 12.3 - Detalhe da fácies finamente laminada no poço SE-1 (testemunho #17; cx. 2/2; 488,5 m).

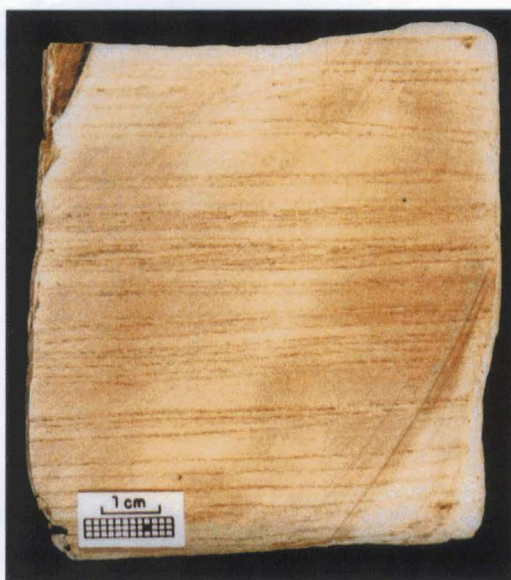


Foto 12.4 - Detalhe da fácies finamente laminada no poço SE-2 (testemunho #4; cx. 1/2; 520,3 m).

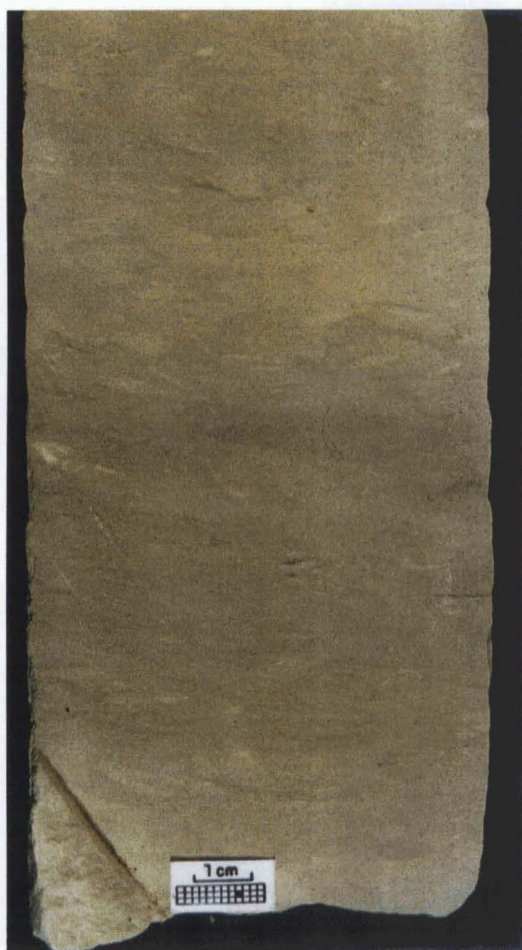


Foto 12.5 - Calcilutitos maciços e bioturbados recuperados no testemunho #1 do poço SE-1 (138,1 m).



Foto 12.6 - Fácies transicional entre a fácies laminada e a maciça (SE-1; testemunho #5; cx. 2/2; 229,5 m). A laminação está mais preservada no topo devido à diminuição da bioturbação.



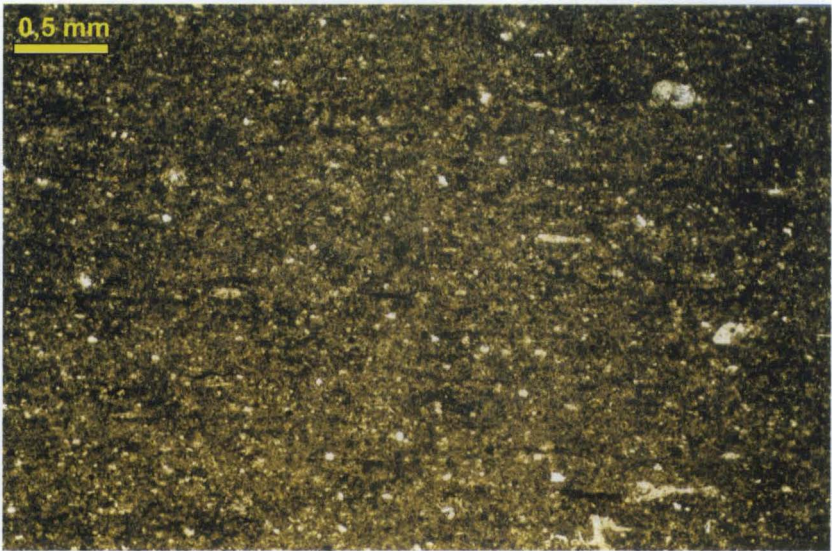


Foto 12.7 - Fotomicrografia (LP) da fácies laminada do poço SE-1 (testemunho #22; cx. 2/2; 598,2 m). Observa-se que as carapaças dos foraminíferos, pitonelídeos e fragmentos de moluscos estão orientados.

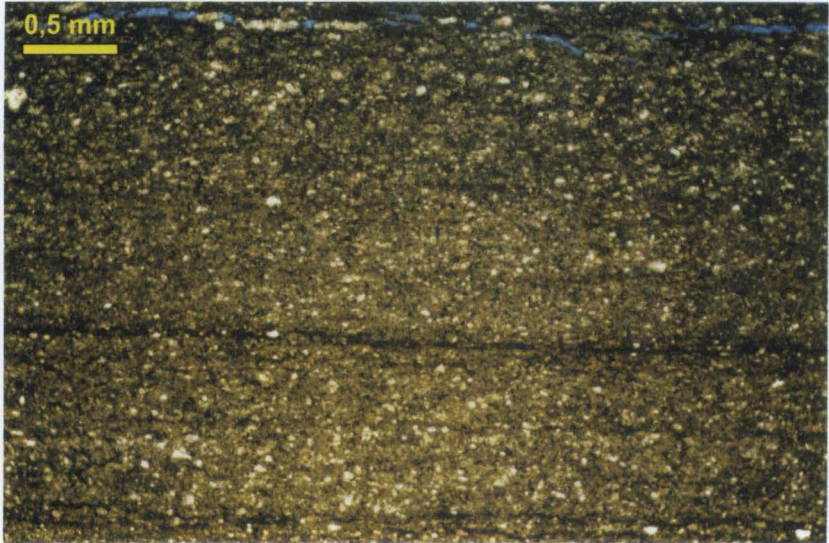


Foto 12.8 - Fotomicrografia (LP) da fácies laminada do poço SE-2 (testemunho #3; cx. 1/2; 450,5 m). Observa-se que as carapaças dos foraminíferos, pitonelídeos e fragmentos de moluscos estão orientados, paralelos as lâminas escuras constituídas de MO amorfa.

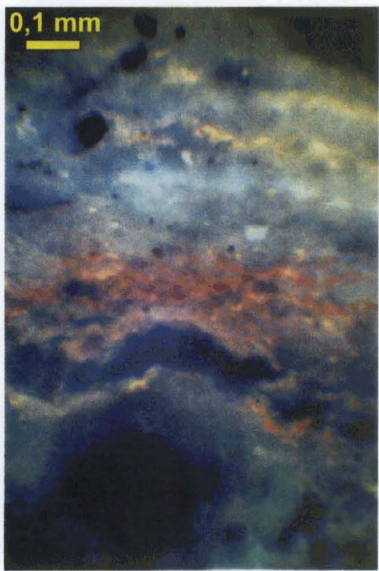


Foto 12.9 - Detalhe ao microscópio ótico com luz transmitida e fluorescência de uma lâmina escura (520,5 m; SE-2). A lâminas escura apresenta uma alta concentração de MO amorfa com fluorescência laranja claro, indicando um grau de maturação incipiente.

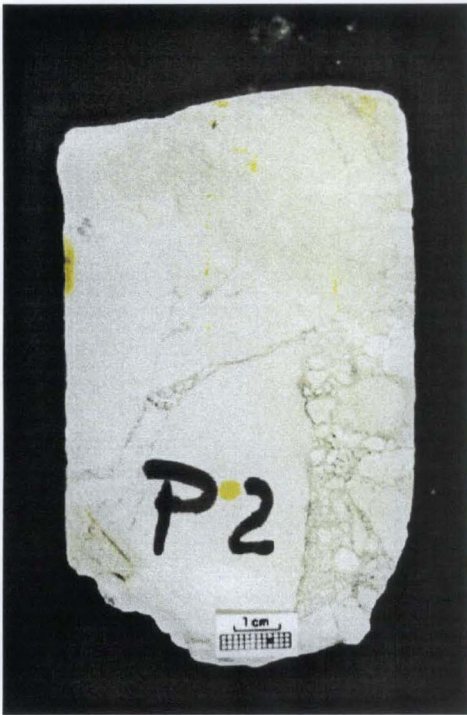


Foto 12.10 - Foto de detalhe das brechas intraformacionais, comuns ao longo da seção testemunhada no poço SE-1 (testemunho #3; cx. 1/2; 184,2 m).

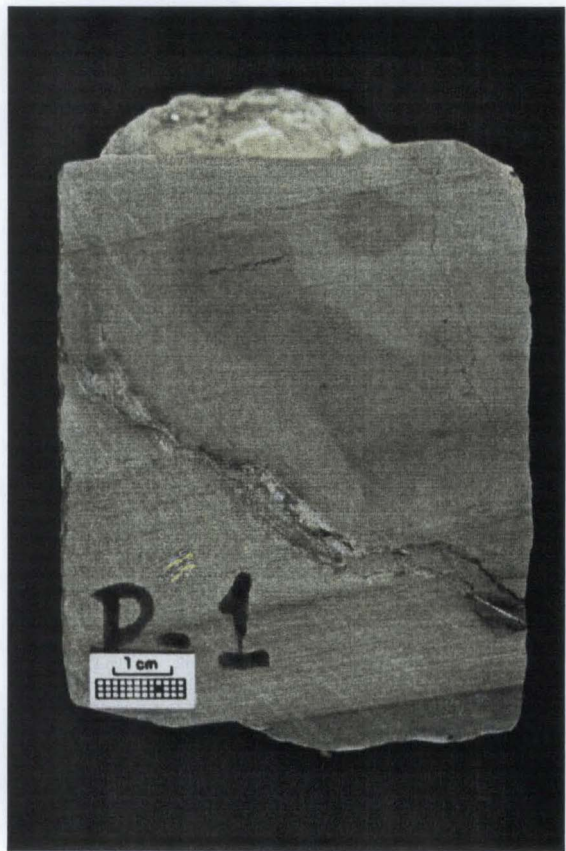


Foto 12.11 - Foto de detalhe de pequenos falhamentos associados às brechas intraformacionais, evidentes no poço SE-1 (testemunho #9; cx. 2/2; 314,9 m).

### 12.5.1 Estudo de ciclicidade nos perfis dos poços

No poço SE-1 foi possível identificar no perfil de raio gama seis ciclos retrogradacionais-progradacionais (Fig. 12.4). Os ciclos retrogradacionais são caracterizados pela feição de “sino normal”, que a partir da superfície de inundação sofrem uma inversão, passando para um padrão de “sino invertido” (ciclos progradacionais). A partir do perfil sônico (DT), calibrado com os dados bioestratigráficos, pode-se interpretar que estes ciclos compõem uma seqüência deposicional (*c.f.* van Wagoner *et al.*, 1988) com cerca de 5,3 Ma. Esta seqüência é caracterizada na base por um trato de sistema transgressivo (TST), com fácies de águas relativamente rasas (testemunho #26). A separação do trato de sistema de mar alto (TSMA) é feita por intermédio de uma superfície de máxima inundação evidenciada pelos altos valores dos perfis DT e raio gama (RG), e a presença de folhelhos pouco espessos (testemunhos #14 e #15). A progradação dos depósitos do TSMA culmina com uma fácies de águas rasas (testemunhos #1 e #2). Os padrões retrogradacionais e progradacionais são melhor evidenciados na curva RG, enquanto que a caracterização dos tratos é mais visível na curva do perfil sônico (DT). Isto se deve à diferença de propriedades que estes perfis registram. O RG é mais sensível à argilosidade, enquanto o DT depende da velocidade intervalar.

A análise espectral dos perfis geofísicos do poço SE-1 segue a subdivisão dos ciclos retrogradacionais-progradacionais, designados com as letras A-F. Deste modo, os periodogramas foram elaborados para intervalos de espessuras variáveis, limitados, preferencialmente, pela mudança da tendência progradacional para retrogradacional. Este procedimento visou isolar intervalos de taxa de acumulação diferentes. Contudo, a presença de periodogramas com um grande número de frequências em destaque demonstra que em alguns intervalos este procedimento foi pouco eficaz.

A base do primeiro ciclo A, o mais espesso da seqüência, representa um evento transgressivo, que inicia com carbonatos de águas relativamente rasas (testemunho #26) depositados diretamente sobre a discordância erosiva, e termina com depósitos laminados depositados em águas relativamente mais profundas (Fig.12.4). No periodograma mais representativo deste intervalo, confeccionado com base na curva DT, observam-se 3 frequências dominantes, que correspondem aos ciclos de comprimento de onda ( $\lambda$ ) de 13,2 m, 5,6 m e 3,0 m (Fig. 12.5 - Periodograma a). Estes ciclos foram interpretados como representativos dos ciclos de excentricidade curta, obliquidade e precessão, considerando-se



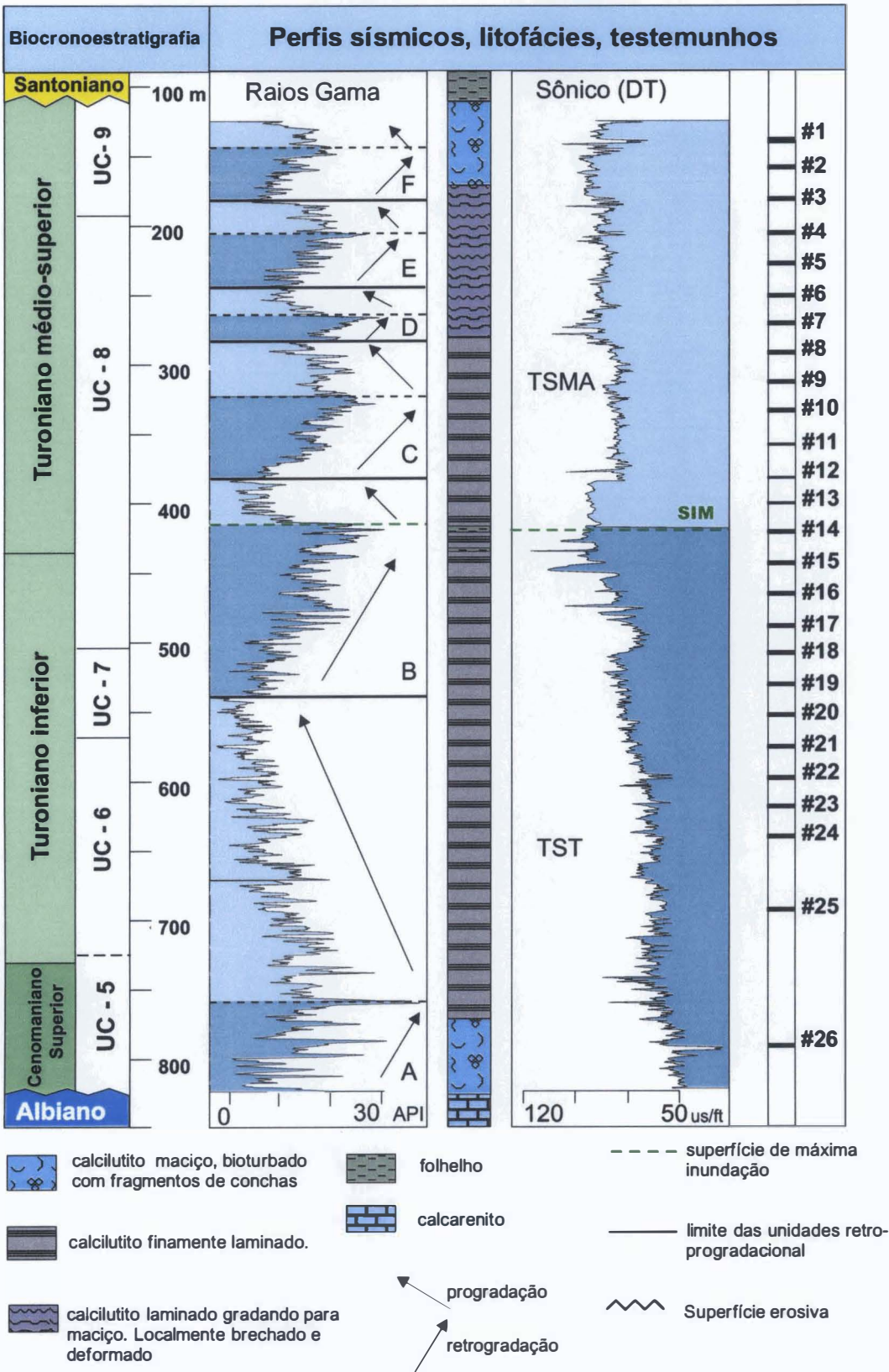


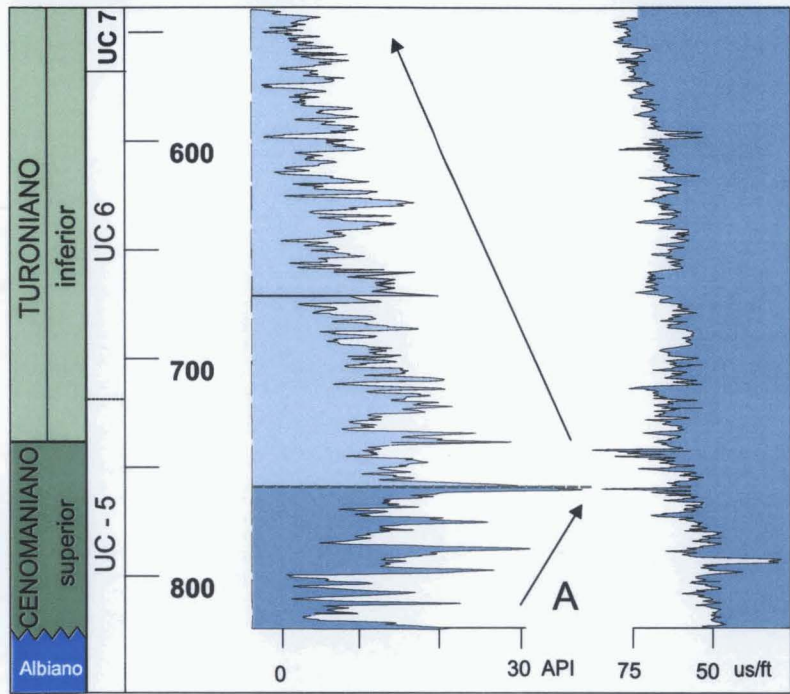
Figura 12.4 - Ciclos retrogradacionais e progradacionais evidenciados no poço SE-1 a partir dos perfis sísmicos. Na curva de DT é possível observar um trato de sistema transgressivo seguido de um trato de sistema de mar alto. No perfil RG observa-se 6 unidades menores, limitadas na base e no topo pela mudança do padrão retrogradacional para progradacional.

uma taxa média de acumulação de 13,4 cm/ka anos. O intervalo progradacional, não gerou periodogramas de boa qualidade tanto na curva RG como na DT. Porém, alguns periodogramas relativos a intervalos parciais sugerem ciclos em torno de 5 m, possivelmente associados à obliquidade, com taxa de acumulação média de  $\lambda=12,9$  cm/ka (Fig.12.5 - Periodograma b). O intervalo total do ciclo A, com cerca de 285 m de espessura, e com taxa de sedimentação média estimada de 12,9 cm/ka, teria uma duração de 2,20 Ma (Fig. 12.5 ).

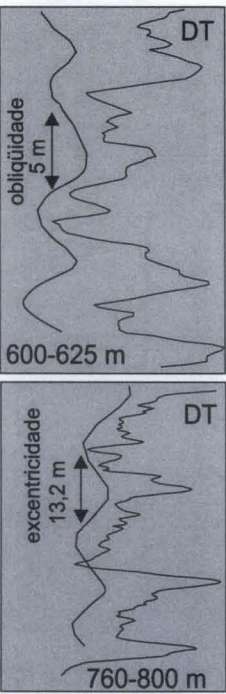
O intervalo retrogradacional do ciclo B é limitado na base pela inversão no perfil de raio gama de valores decrescentes para crescentes, e no topo, pela superfície máxima de inundação da sequência. Sobre esta superfície ocorre uma nítida mudança nos padrões dos perfis geofísicos, que tornam-se padrões progradacionais ou agradacionais (Figura 12.6). Na análise cicloestratigráfica do intervalo retrogradacional foram reconhecidos ciclos relativos à excentricidade longa e curta ( $\lambda=47,4$  m e 11,8 m) e obliquidade ( $\lambda=4,7$  m) no perfil de raio gama, permitindo inferir-se uma taxa de acumulação média de 11,7 cm/ka. O significado geológico do ciclo de comprimento mais longo é questionável porque esta medida é a metade do comprimento total do intervalo analisado. Ocorre ainda, em destaque, uma frequência que representa um ciclo com  $\lambda=15,8$  m, e que aparentemente não possui relação com os ciclos de Milankovitch (Fig.12.6 - Periodograma a). Os periodogramas feitos a partir da curva DT não apresentaram bons resultados, uma vez que esta curva é extremamente irregular neste intervalo. Periodogramas relativos a intervalos parciais de 25 metros, entre 465- 490 m e 515- 540 m, destacam ciclos com  $\lambda=5$  m, interpretados como obliquidade (Fig. 12.6 - Periodograma a). No periodograma relativo ao intervalo progradacional não foram reconhecidos sinais que pudessem indicar a existência de ciclicidade. Em função da taxa de acumulação média (11,8 cm/ka) e da espessura deste ciclo retrogradacional-progradacional (180 m), pode-se estimar que ele foi depositado em 1,52 Ma (Fig. 12.6).

No ciclo C, as 3 frequências mais destacadas no periodograma relativo à parte retrogradacional para valores de DT podem ser interpretadas como associadas à excentricidade curta ( $\lambda=11,6$  m), obliquidade ( $\lambda=5,8$  - 4,9 m) e precessão ( $\lambda=3,1$ -2,1 m). Contudo, a margem excessivamente ampla de variação dos resultados dificulta o cálculo das taxas de acumulação. Assumindo-se, por exemplo, que a taxa de acumulação de 11,6 cm/ka, calculada pelo ciclo de excentricidade, o ciclo de obliquidade deveria ter o comprimento de onda em torno de 4,7 m, e o de precessão variando de 2,7 m (23 ka) a 2,2 m (19 ka). Entretanto, observa-se que estes valores não são os mais destacados, apesar de estarem em

Biocronoestratigrafia, profundidade (m) , perfis de raio gama (RG) e sônico (DT). Intervalo progradacional (↗), retrogradacional (↘).

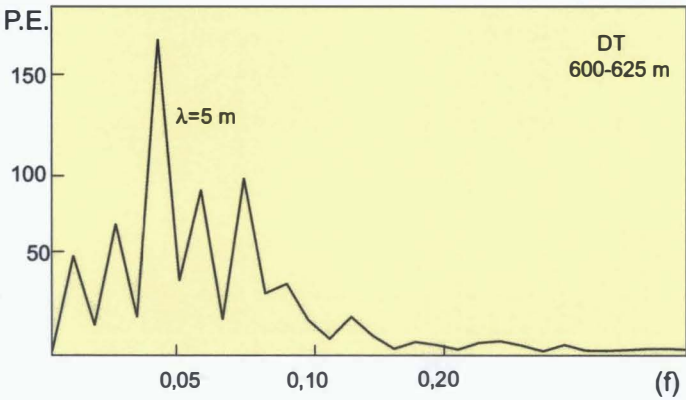


Identificação dos ciclos

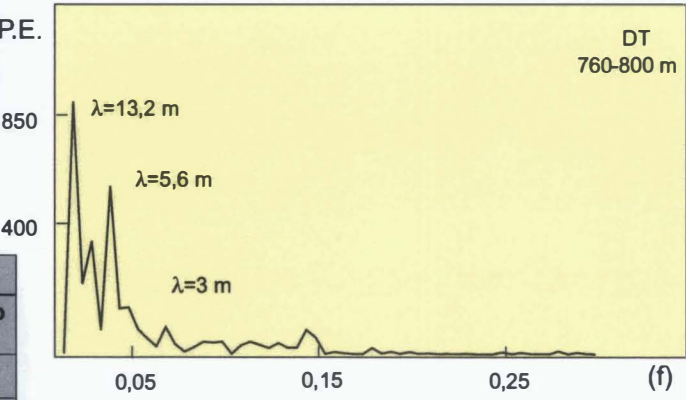


Análise espectral (FFT) e comprimento de onda ( $\lambda$ ) dos principais ciclos

Periodograma b



Periodograma a



Taxa média de acumulação: 12,9 cm/ka  
Espessura do intervalo: 285 m  
Duração temporal : 2,20 Ma

| CICLO A 600-625* e 760-800 m |               |                            |
|------------------------------|---------------|----------------------------|
| Ciclo orbital (ka)           | $\lambda$ (m) | Taxa de acumulação (cm/ka) |
| 100                          | 13,2          | 13,2                       |
| 41                           | 5,6-5,0*      | 13,7-12,1*                 |
| 23                           | 3,0           | 13,2                       |

Figura12.5 - Análise espectral do intervalo progradante-retrogradante A. O gráfico de reconhecimento dos ciclos nos perfis não está em escala. A taxa média de acumulação foi calculada pela soma do menor e maior valor, dividida por dois.



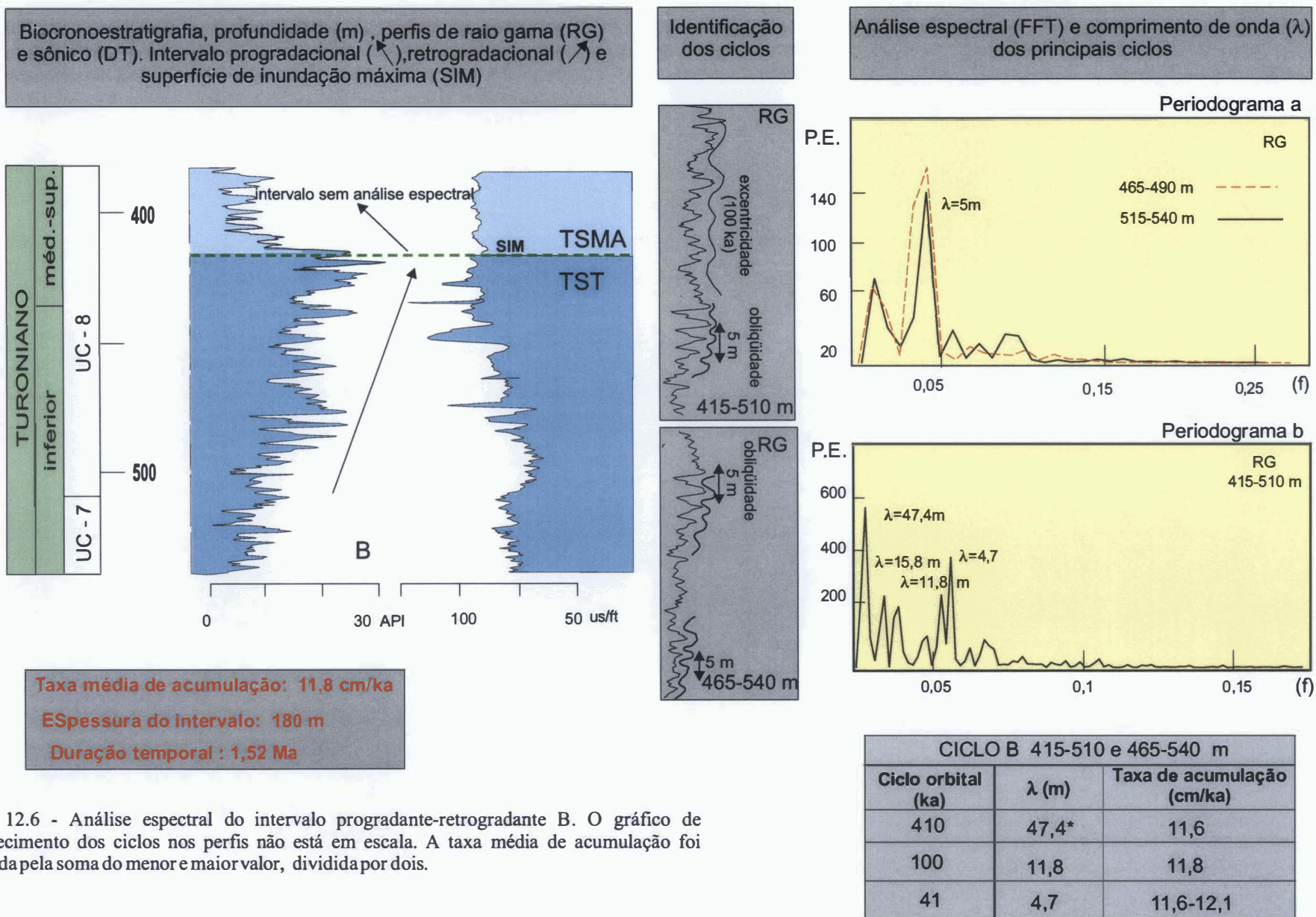


Figura 12.6 - Análise espectral do intervalo progradante-retrogradante B. O gráfico de reconhecimento dos ciclos nos perfis não está em escala. A taxa média de acumulação foi calculada pela soma do menor e maior valor, dividida por dois.

uma faixa de frequências com alto valor espectral (Fig. 12.7 - Periodograma a). A pouca precisão dos resultados obtidos, deve-se, provavelmente, à grande oscilação da taxa de acumulação. Foram elaborados também periodogramas para intervalos similares na curva RG, porém os resultados não foram melhores. O intervalo progradacional apresenta em destaque um ciclo de  $\lambda=5,8$  m, representativo da obliquidade (Fig. 12.7 - Periodograma b). A taxa média de acumulação é de 12,1 cm/ka, o que indicaria uma estimativa média de 0,63 Ma para a deposição do intervalo (Fig. 12.7).

Na unidade D, os periodogramas gerados a partir da curva DT indicam somente um ciclo de  $\lambda=5$  m, na parte retrogradante, e de  $\lambda=3,7$  m, na progradante, interpretados como relativos à obliquidade. Neste caso a taxa de acumulação teria sido reduzida de 12,2 para 9 cm/ka. Utilizando-se uma taxa de acumulação média de 10,6 cm/ka, estima-se uma duração de 0,36 Ma para a deposição deste pacote (Fig. 12.8 - Periodograma a).

No periodograma relativo ao intervalo retrogradante da unidade E para a curva de DT destacam-se 2 frequências, relativas a ciclos de  $\lambda=9,9$  e 4 m. Estes foram interpretados como relativos aos ciclos de excentricidade curta e obliquidade, com taxa de acumulação média de 10,1 cm/ka. A duração estimada do intervalo é de 0,6 Ma (Fig. 12.8 - Periodograma b).

A análise espectral das curvas RG e DT no intervalo F não apresentaram resultados significativos.

O poço SE-2 não possui perfil sônico no intervalo estudado. Deste modo, as análises espectrais foram realizadas exclusivamente nos perfis de raios gama suavizados segundo uma média móvel de nove pontos com peso maior no elemento central. A análise da curva suavizada apresentou melhores resultados que a análise dos dados primários. A suavização retirou as altas frequências de caráter aperiódico, melhorando consideravelmente a qualidade dos periodogramas. Neste poço, de modo similar ao observado no SE-1, interpretou-se a existência de dois ciclos retrogradacionais-progradacionais (Fig. 12.9).

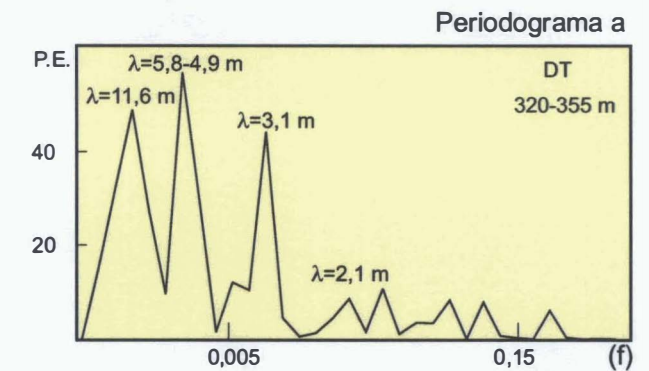
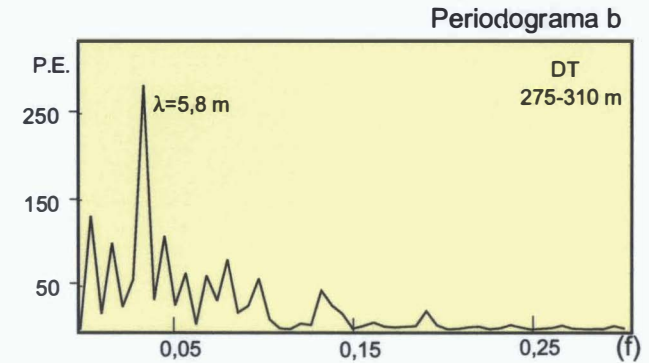
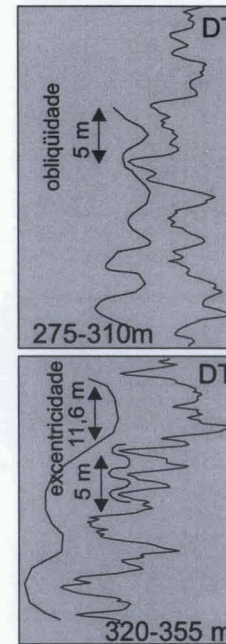
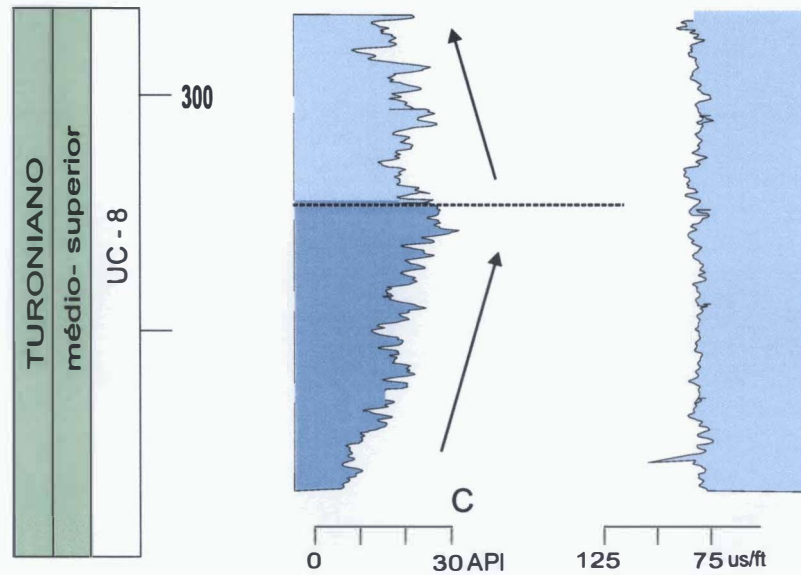
A partir da análise espectral do intervalo retrogradacional do ciclo A não é possível sugerir a existência de eventos periódicos. Entretanto, no intervalo progradacional evidencia-se a existência de duas faixas de frequências com altos valores de variância. A primeira, correspondente a um ciclo de cerca de 4,7 m de comprimento de onda, associada à obliquidade; a segunda, com  $\lambda=2,7-2,3$  m foi interpretada como relativa ao ciclo precessional. Assumindo que a parte inferior deste ciclo tenha tido uma taxa de acumulação média de 10,8



Biocronoestratigrafia, profundidade (m), perfis de raio gama (RG) e sônico (DT). Intervalo progradante (↖), retrogradante (↗).

Identificação dos ciclos

Análise espectral (FFT) e comprimento de onda ( $\lambda$ ) dos principais ciclos

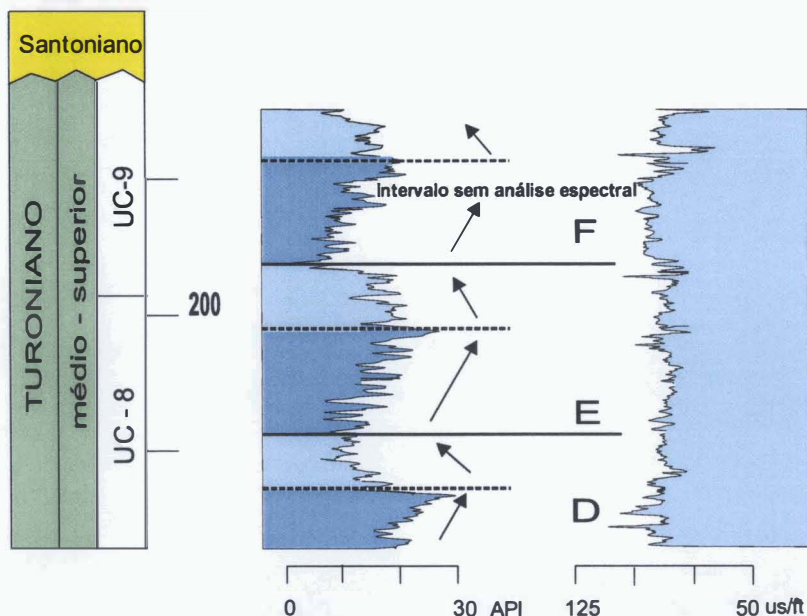


Taxa média de acumulação: 12,1 cm/ka  
Espessura do intervalo: 80 m  
Duração temporal: 0,63 Ma

| CICLO C 275-310 e 320-355 m |               |                            |
|-----------------------------|---------------|----------------------------|
| Ciclo orbital (ka)          | $\lambda$ (m) | Taxa de acumulação (cm/ka) |
| 100                         | 11,6          | 11,6                       |
| 41                          | 5,8-4,9       | 14,1-11,9                  |
| 23                          | 2,1           | 11,4                       |

Figura 12.7 - Análise espectral do intervalo progradante-retrogradante C. O gráfico de reconhecimento dos ciclos nos perfis não está em escala. A taxa média de acumulação foi calculada pela soma do menor e maior valor, dividida por dois.

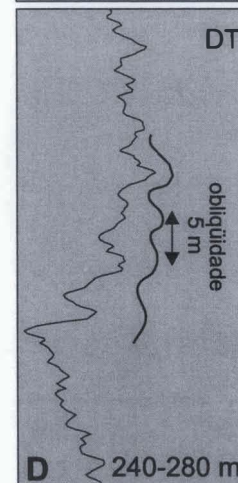
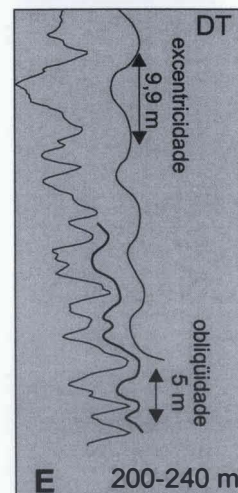
Biocronoestratigrafia, profundidade (m), perfis de raio gama (RG) e sônico (DT). Intervalo progradacional (↖), retrogradacional (↗).



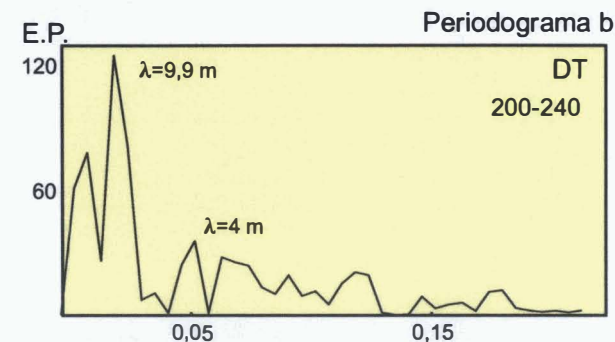
**D** Taxa média de acumulação:  
10,6 cm/ka  
  
Espessura do intervalo: 40 m  
  
Duração temporal : 0,36 Ma

**E** Taxa média de acumulação:  
10,1 cm/ka  
  
Espessura do intervalo: 60 m  
  
Duração temporal : 0,60 Ma

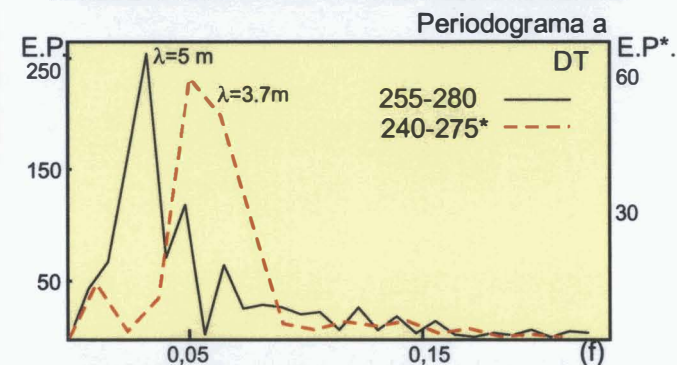
Identificação dos ciclos



Análise espectral (FFT) e comprimento de onda ( $\lambda$ ) dos principais ciclos



| CICLO E 180-240    |               |                            |
|--------------------|---------------|----------------------------|
| Ciclo orbital (ka) | $\lambda$ (m) | Taxa de acumulação (cm/ka) |
| 100                | 9,9           | 9,9                        |
| 40                 | 4             | 10,3                       |



| CICLO D 240-280 m  |               |                            |
|--------------------|---------------|----------------------------|
| Ciclo orbital (ka) | $\lambda$ (m) | Taxa de acumulação (cm/ka) |
| 41                 | 3,7-5,0       | 9-12,2                     |

Figural 2.8 - Análise espectral do intervalo progradante-retrogradante D e E. O gráfico de reconhecimento dos ciclos nos perfis não está em escala. A taxa média de acumulação foi calculada pela soma do menor e maior valor, dividida por dois.



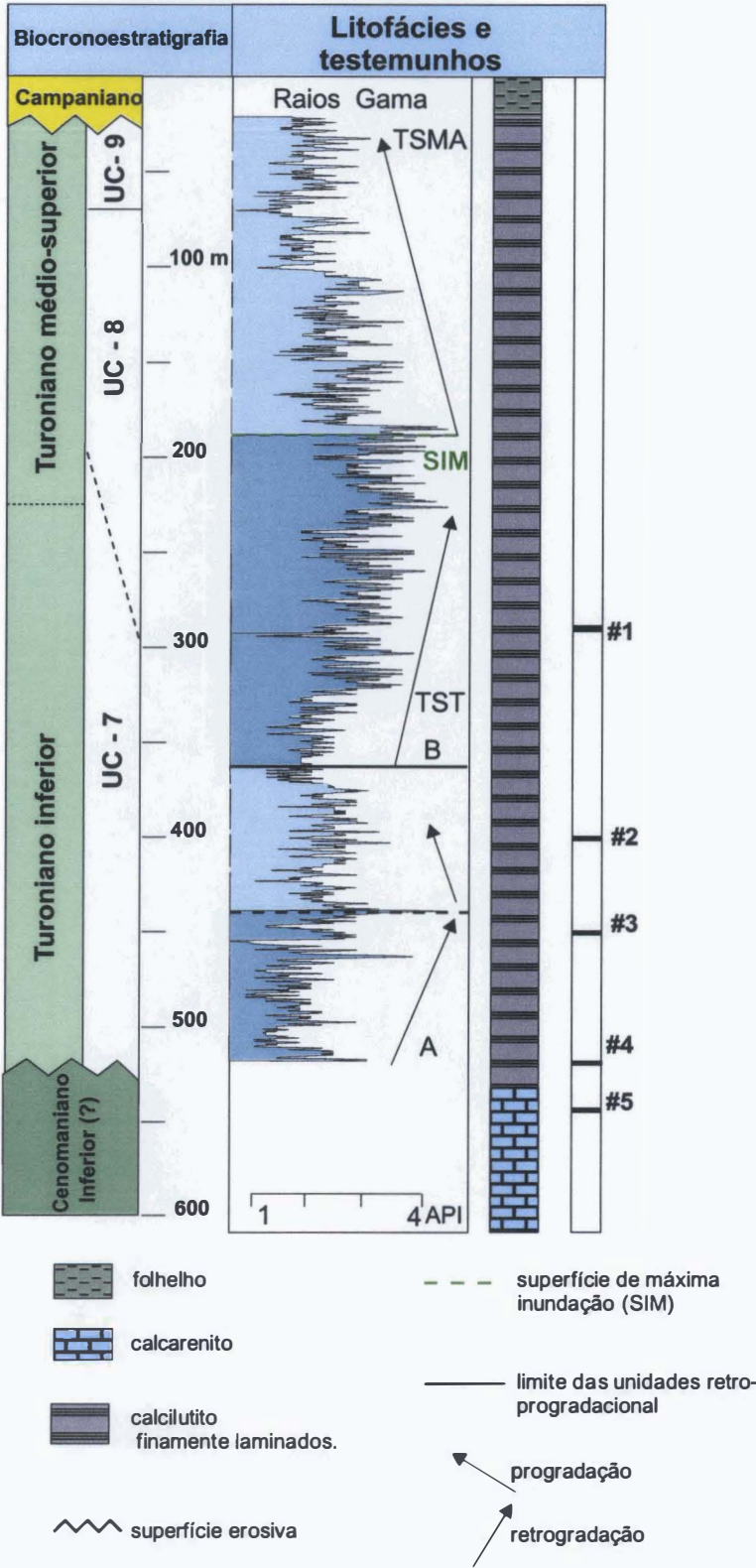


Figura 12.9 - Ciclos retrogradacionais e progradacionais evidenciados na curva de raios gama do poço SE-2. A seqüência foi subdividida em duas unidades.

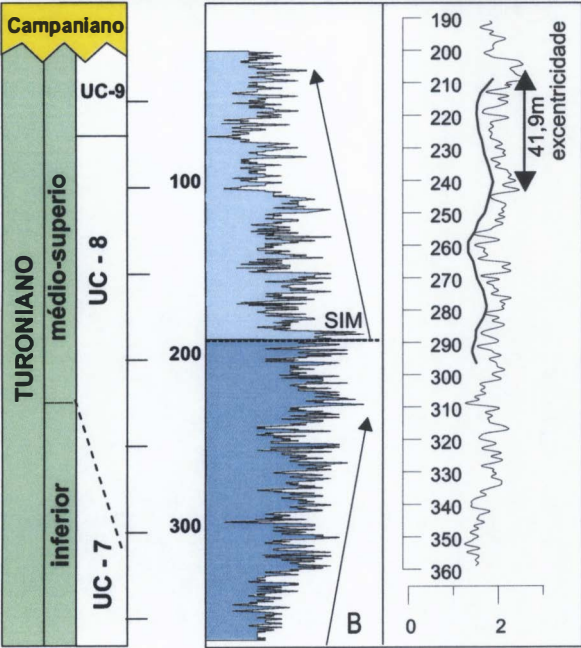
cm/ka, a deposição deste intervalo (160 m) levou cerca de 1,47 Ma (Fig. 12.10 - periodograma a).

No ciclo B se destacam 5 picos no periodograma relativo à parte retrogradacional desta unidade. Quatro deles foram interpretados como associados aos fenômenos de excentricidade longa ( $\lambda=41,9$  m), excentricidade curta ( $\lambda=11,9$  m) e obliquidade ( $\lambda=5,2 - 4,5$  m). O ciclo de  $\lambda=15,2$  m não pode ser ajustado a nenhum dos ciclos orbitais conhecidos. Contudo, este último ciclo também está bem definido no poço SE-1. O ciclo de excentricidade longa não se encontra muito bem definido, provavelmente devido à baixa eficiência do método empregado (FFT) na identificação de ciclos de períodos relativamente longos em série temporais curtas. A pouca definição do ciclo de obliquidade, com comprimento de onda variando entre 5,2 m a 4,5 m, associa-se a oscilações da taxa de acumulação. A duração estimada deste intervalo (330 m), considerando-se uma taxa de acumulação média de 11,8 cm/ka, seria de 2,79 Ma (Fig. 12.10 - periodograma b).

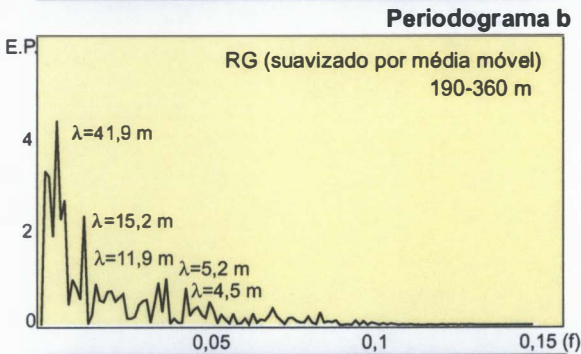
Considerando que as taxas de acumulação nos dois poços não sofreram grandes variações, pode-se supor que o suprimento médio de sedimentos provenientes da parte rasa não sofreu drásticas reduções. No entanto, em uma escala de maior detalhe, deve existir uma oscilação da taxa de acumulação devido às alterações da produção de carbonato em função das variações relativas do nível do mar. De qualquer forma, é possível que a exportação de sedimentos não seja exatamente proporcional à produção. A exportação de sedimentos a partir de uma plataforma carbonática rasa para ambientes mais profundos requer um excesso de produção e energia suficiente para que ocorra o transporte. Para a maior parte dos autores a maior taxa de produção e exportação de sedimentos carbonáticos acontece durante o trato de mar alto (Kendall & Schlager, 1981; Mullins, 1983; Droxler & Schlager, 1985). Todavia, existem alguns autores que defendem, que de modo similar aos sedimentos siliciclásticos, os calciturbiditos ocorram principalmente no trato de mar baixo (Shanmugam & Moiola, 1984). Acredita-se que os ciclos retrogradacionais-progradacionais reconhecidos nos perfis refletem a produção e exportação de carbonatos da plataforma diretamente associados às oscilações do nível relativo do mar controladas por tectonismo local e regional.

Embora seja bastante difícil especificar o que seria uma taxa de acumulação compatível com os depósitos formados por calciturbiditos e hemipelagitos, já que nos ambientes carbonáticos atuais como nas Bahamas, as taxas de acumulação destes depósitos

Biocronoestratigrafia, profundidade (m) , perfis de raio gama (RG). Intervalo progradacional (↗), retrogradacional (↘) e superfície de inundação máxima (SIM), e identificação dos ciclos

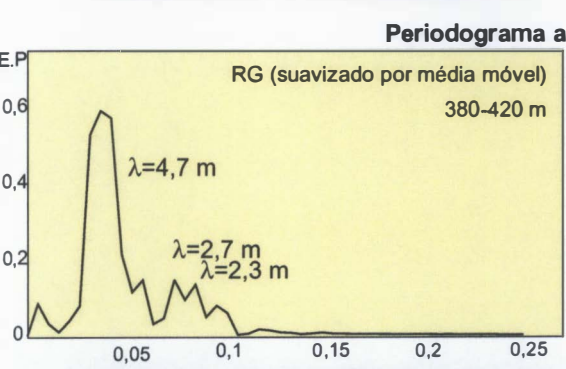
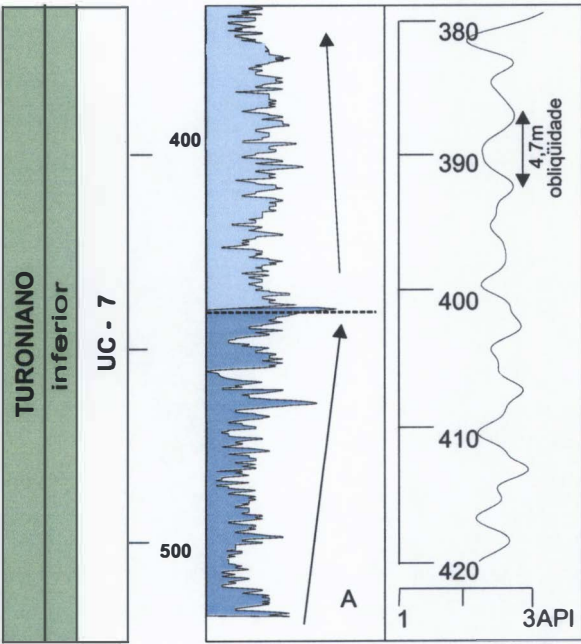


Análise espectral (FFT) do perfil RG suavizado (média móvel de 5 pontos) e comprimento de onda ( $\lambda$ ) dos principais ciclos



| CICLO B 30- 360 m  |               |                            |
|--------------------|---------------|----------------------------|
| Ciclo orbital (ka) | $\lambda$ (m) | Taxa de acumulação (cm/ka) |
| 410                | 41,9          | 10,6                       |
| 100                | 11,9          | 11,9                       |
| 41                 | 5,2-4,5       | 12,6-11,0                  |

Taxa média de acumulação: 11,8 cm/ka  
Espessura do intervalo: 330m  
Duração temporal : 2,79 Ma



| CICLO A 380- 420 m |               |                            |
|--------------------|---------------|----------------------------|
| Ciclo orbital (ka) | $\lambda$ (m) | Taxa de acumulação (cm/ka) |
| 41                 | 4,7           | 11,5                       |
| 23                 | 2,7           | 11,7                       |
| 19                 | 2,3           | 10,0                       |

Taxa média de acumulação: 10,8 cm/ka  
Espessura do intervalo: 160 m  
Duração temporal: 1,47 Ma

Figura 12.10 - Análise espectral do intervalo retrogressivo-progradacional A e B do poço SE-2. O gráfico de reconhecimento dos períodos nos perfis não está em escala. A taxa de acumulação média foi calculada pela soma do menor e maior valor, dividida por dois.



variam desde 2 até 17,5 cm/ka (Droxler & Schlager, 1985), os valores da taxas de acumulação nos poços SE-1 e SE-2 não são discrepantes do contexto deposicional. Cabe ainda considerar que a estimativa temporal da seqüência com base na análise espectral e dados bioestratigráficos são compatíveis.

### **12.5.2 Análise espectral nos testemunhos do poço SE-1**

A análise espectral realizada nos testemunhos #9, #16, #17, #18 e #19, revelou a existência de periodicidade relacionada ao processo de formação das lâminas escuras ricas em MO. A análise espectral destes testemunhos destaca ciclos com comprimento de onda variando de 9 a 22 cm. Os ritmos assinalados correspondem ao adensamento das lâminas escuras de espessura milimétrica formando bandas escuras de dimensão centimétrica. Em alguns testemunhos estes ciclos são melhor assinalados que em outros. No testemunho #9, por exemplo, o padrão cíclico é muito nítido (Fig. 12.11).

Estes ciclos de alta frequência representam, provavelmente, centenas de anos. A preservação de padrões periódicos nestas sucessões sinaliza que as taxas de compactação e acumulação se mantiveram quase constantes, pelo menos por algum tempo. Supondo-se uma taxa de acumulação de 11 cm/ka, seria necessário que esta se mantivesse constante pelo menos durante cerca de 3 ka, para que os ciclos de 9 cm de comprimento de onda fossem registrados e identificados na análise espectral (Fig. 12.11). Nesta ordem de frequência o registro de periodicidade é muito vulnerável à variação da taxa de acumulação e compactação. Pequenas modificações nestas taxas podem comprometer drasticamente o registro periódico tornando-o irreconhecível.

### **12.5.3 Estudo da ciclicidade nas pedreiras Votorantim e Rita Cacete.**

Não foi possível realizar análises espectrais nos dados geoquímicos e paleontológicos obtidos na amostras das pedreiras. Entretanto, pode-se constatar, ainda que

**Análise espectral do testemunho #9 (SE-1)**

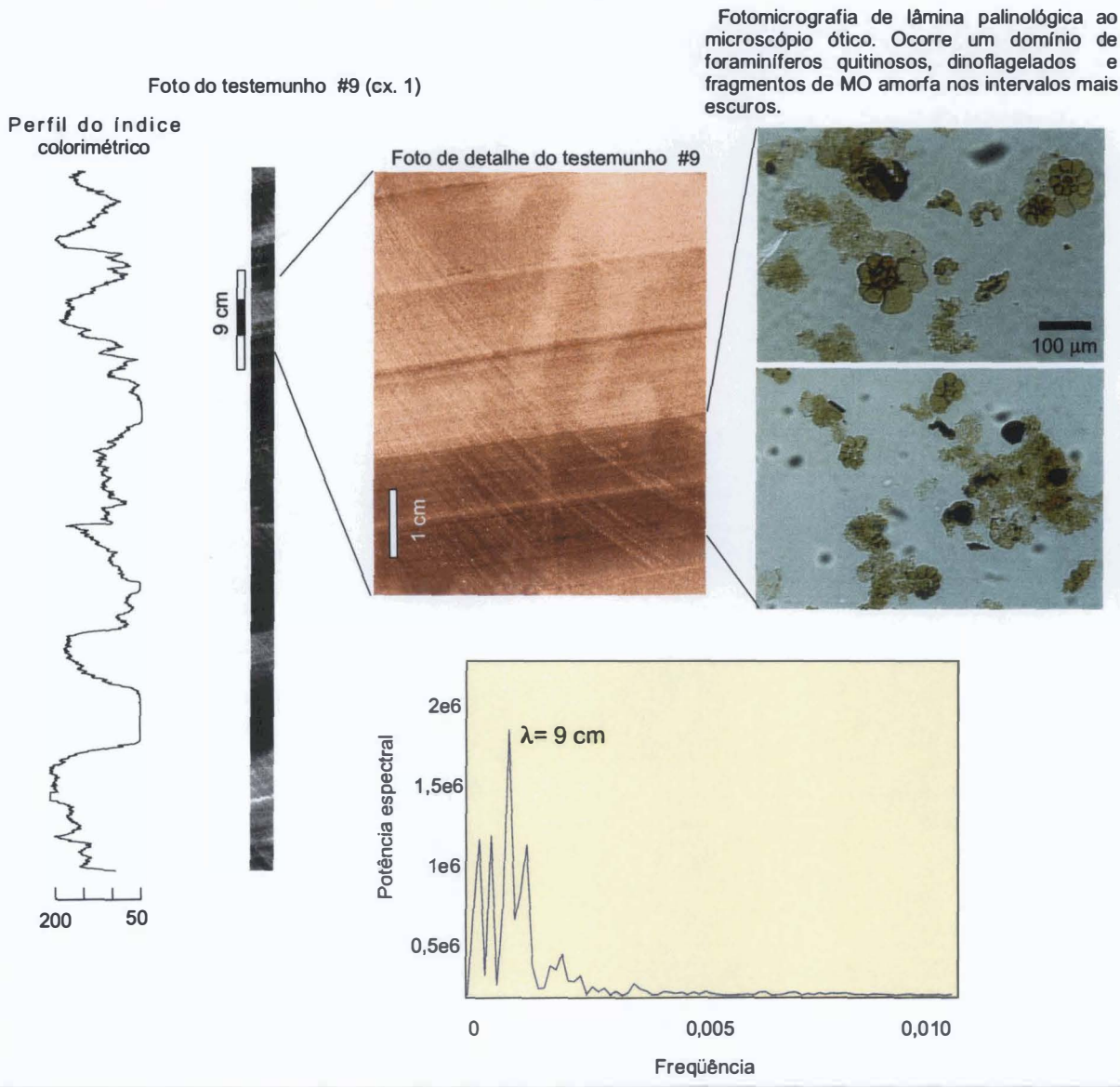


Figura 12.11 - Análise espectral do perfil de cor do testemunho #9 do poço SE-1, Bacia de Sergipe. As lâminas escuras milimétricas compostas de MO amorfa, ricas em foraminíferos quitinosos e dinoflagelados, seguem um padrão cíclico de altíssima frequência. O agrupamento das lâminas formam camadas centimétricas de cor escura que alternam-se com as camadas claras, mais pobres em MO. O significado temporal deste padrão, pressupondo uma taxa de acumulação de 11 cm/ka, é inferior a 1000 anos.

qualitativamente, que determinados parâmetros variam segundo um padrão de periodicidade bem definido.

Nos dados geoquímicos das amostras da Pedreira Rita Cacete observa-se que o COT e o  $\delta^{18}\text{O}$  variam periodicamente, segundo uma aparente correlação positiva, de difícil comprovação estatística devido ao reduzido número de análises (Fig. 12.12). Esta variação é independente da alternância de camadas clara-escura que resulta da variação das quantidades de  $\text{CaCO}_3$  e de  $\text{C}_{\text{org}}$ .

Segundo Carmo (1997) a alternância de cores claras e escuras verificadas nos ritimitos da pedreira Votorantim é resultado da variação das quantidades de  $\text{CaCO}_3$  e de  $\text{C}_{\text{org}}$  moduladas pela alternância de períodos úmidos e secos. Durante o clima úmido a ação mais intensa do vento e o maior influxo continental diminuiriam a produtividade carbonática da plataforma e fertilizariam as águas, promovendo o aumento do fitoplâncton não carbonático. Durante o período climático seco, a produção e exportação carbonática aumentaria e simultaneamente ocorreria um aumento do carbonato de origem pelágica.

No intervalo descrito em detalhe na pedreira Votorantim, no qual foram feitas apenas algumas análises de COT, é possível observar uma clara oscilação do COT em função da mudança de cor. As camadas escuras caracterizam-se por um valor mais alto de COT, associação monoespecífica de nanofósseis calcários da espécie *Eprolithus floralis* e aumento de radiolários esféricos e foraminífero bentônico da espécie *Turrispirillina subconica*. A ciclicidade destes parâmetros geoquímicos e micropaleontológicos está claramente associada a mudanças rítmicas nas condições ambientais (Fig. 12.13).

A julgar pelas taxas de acumulação estimadas nos poços, em torno de 11 cm/ka, tanto os ciclos de variação do COT associados à cor das camadas, como aqueles independentes desta, possuem expressão temporal inferior à duração do ciclo precessional. Carmo & Pratt *et al.* (1999) propuseram que os ciclos observados na Pedreira Votorantim estivessem relacionados ao “double-beat” do ciclo de precessão, com cerca de 10,5 ka. De acordo com Park *et al.* (1993), algumas regiões da África e América do Sul, situadas entre as paleolatitudes  $10^{\circ}$  -  $30^{\circ}\text{S}$  durante o Cretáceo foram sensíveis a ambos os extremos do ciclo precessional, recebendo um máximo de insolação a cada 11 ka.

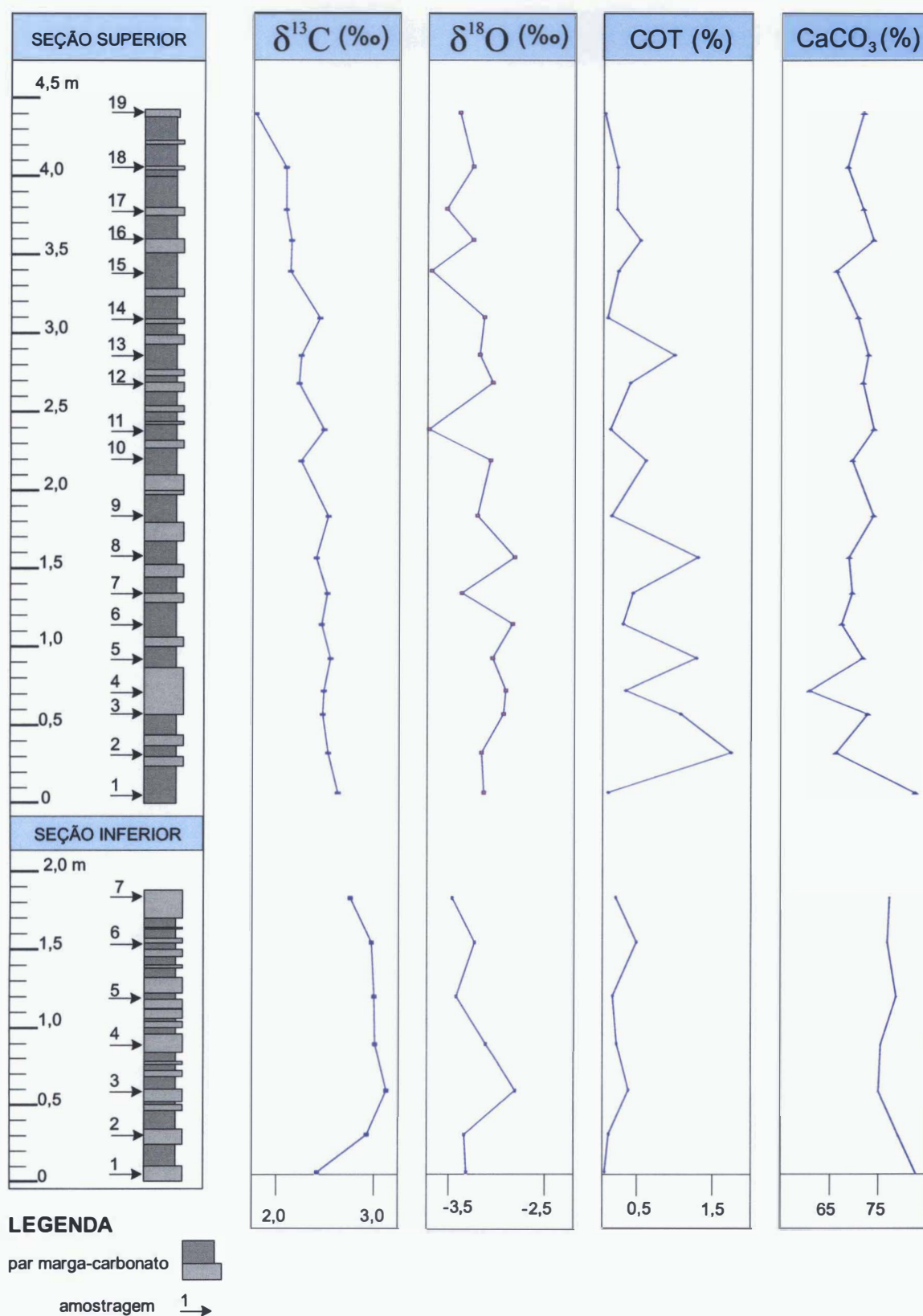
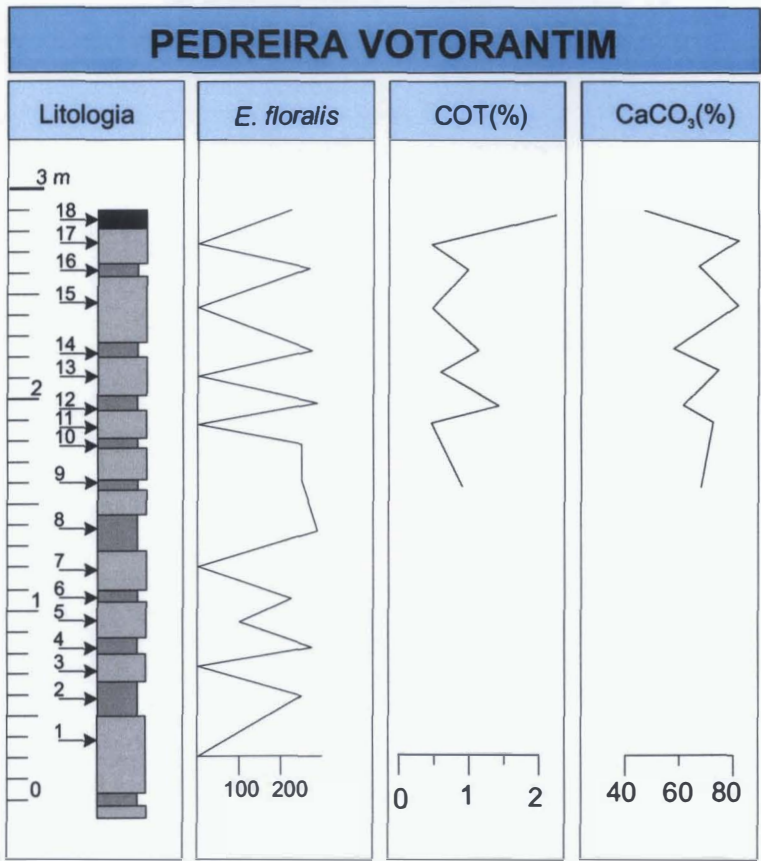


Figura 12.12 - Resultados das análises geoquímicas das amostras coletadas na Pedreira Rita Cacete. Nota-se uma variação cíclica do COT e do  $\delta^{18}\text{O}$ . Os valores de  $\delta^{13}\text{C}$  decrescem da base para o topo.



Legenda

folhelho      par marga-carbonato      19 → amostra

Figura 12.13 - Resultados das análise geoquímicas das amostras coletadas na Pedreira Votorantim. As setas assinalam a posição das amostras. A quantificação da espécie *E. floralis* corresponde a contagem de 100 campos de visão no aumento de 1200X.



## 12.6 ORIGEM DOS CICLOS

A origem dos ciclos retrogradacionais-progradacionais reconhecidos nos poços SE-1 e SE-2 parece estar associada, principalmente, a razões tectônicas regionais. Durante o Turoniano, a Bacia de Sergipe estava em um período de relativa quiescência; porém, olistostromas, pequenas falhas e feições de deslizamento assinalam a existência de atividade tectônica de pequena escala (Koutsoukos, 1989; Koutsoukos *et al.*, 1993). Corroborando uma origem tectônica, ao invés de climática, constata-se que a duração dos ciclos retrogradacionais-progradacionais não segue um padrão periódico.

Ainda que as oscilações da argilosidade, teor de MO e produção e exportação de sedimentos carbonáticos possam estar associadas aos ciclos tectônicos, o reconhecimento de padrões periódicos nas variações destes parâmetros indicam também uma origem climática-orbital. O modelo adotado para explicar estas variações periódicas segue, em linhas gerais, as idéias de Koutsoukos (1989) e Carmo (1997). Segundo este modelo, a variação da quantidade de MO, predominantemente de origem fitoplanctônica, é reflexo do influxo continental que sofre um incremento nas fases úmidas. O aumento de nutrientes e argila provenientes da área continental inibem a produção dos carbonatos de águas rasas, propiciando um aumento da produtividade fitoplanctônica.

As florações periódicas de *Eprolithus floralis* registradas na pedreira Votorantim, podem ser associadas ao aumento do influxo continental e conseqüente eutrofização das águas. Diversos trabalhos citam a ocorrência de florações do gênero *Eprolithus* próximo à passagem do Cenomaniano-Turoniano (Bralower, 1988; Varol, 1992; Gorostidi & Lamolda, 1994). Segundo Bralower (1988), eventos envolvendo as florações do gênero *Eprolithus* tem como mecanismo comum o estresse ambiental e a diminuição da salinidade das águas superficiais. A análise da microfauna corrobora esta interpretação, na medida que observa-se a diminuição da diversidade e o domínio de radiolários esféricos e do foraminífero bentônico *Turrispirillina subconica*. Outra explicação possível para o aumento cíclico dos *Eprolithus floralis* poderia estar relacionada à dissolução de gêneros menos resistentes (Roth & Bowdler, 1981; Bralower, 1988). Entretanto, na análise ao MEV das amostras da Pedreira Votorantim não se evidencia intensa corrosão, ou recristalização dos nanofósseis (Foto 12.12). A ausência de dissolução foi também constatada por Carmo (1997) com base em dados geoquímicos.

Estas alterações ambientais cíclicas também estão registradas nas fácies de aspecto

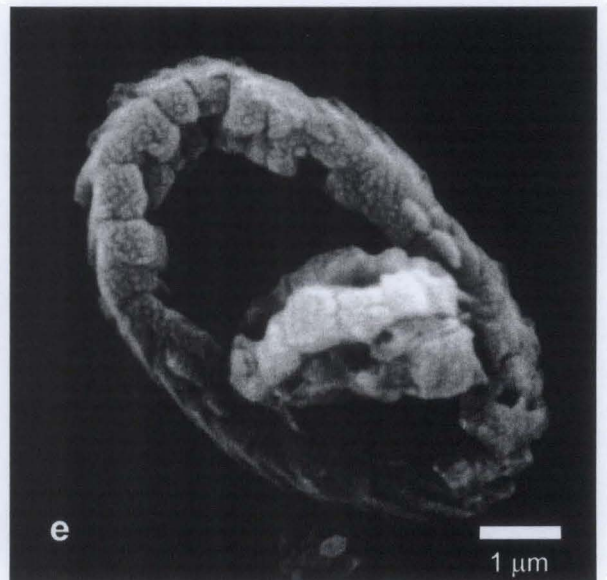
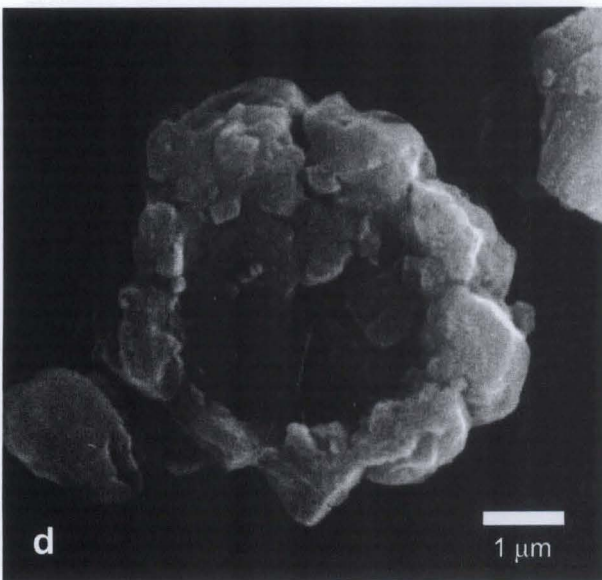
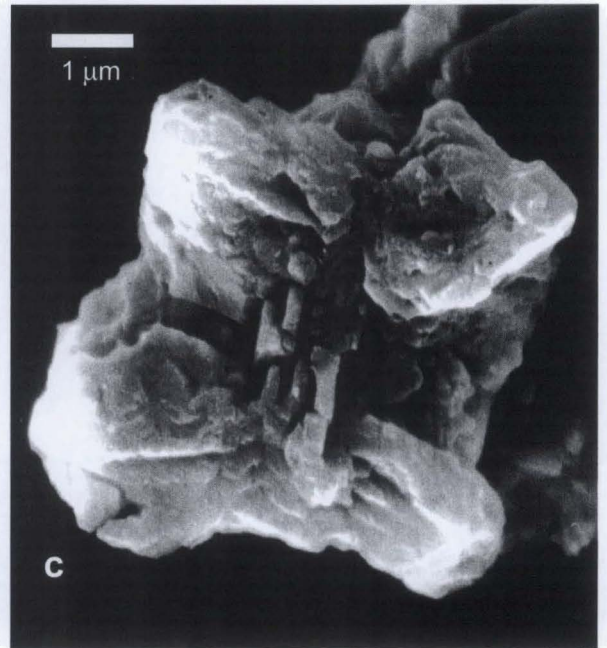
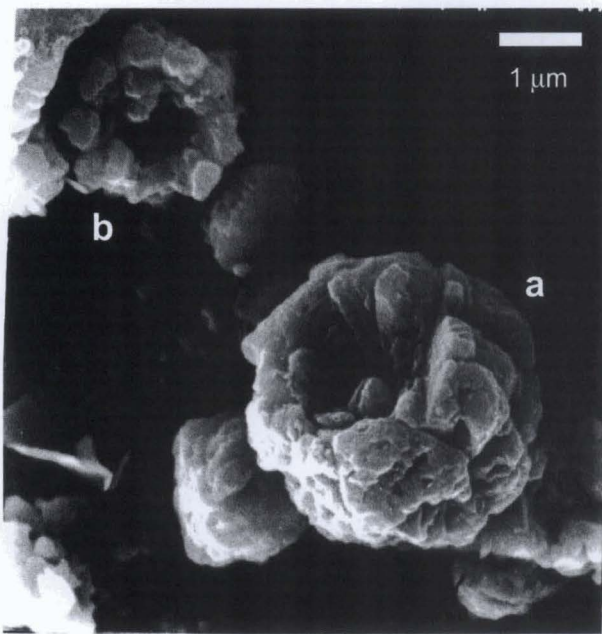


Foto 12.12 - A análise ao MEV de exemplares de *Nannoconus truitti* (a), *Eprolithus* sp. (b), *Quadrum* sp. (c) *Radiolithus* sp. (d) e *Zeugrhabdotus* sp. (e) mostra que os processos de dissolução e recristalização foram pouco efetivos na seção estudada da pedreira Votorantim (amostra 3; Fig. 12.13).

várvido dos poços SE-1 e SE-2, onde a análise palinológica demonstrou que as lâminas escuras são relativamente ricas em MO amorfa, palino-foraminíferos e dinoflagelados (Fig. 12.11). A baixa diversidade destes organismos poderia ser interpretada como indicativa de condições ambientais mais inóspitas. Na medida que a concentração de nutrientes aumenta, foraminíferos, dinoflagelados e radiolários são sucessivamente substituídos por outros organismos mais adaptados ao ambiente eutrófico de águas turvas e depletados em carbonato. Quando o ambiente se torna inóspito mesmo para estes grupos, provavelmente, se instalam as bactérias e microrganismos que deram origem à MO das lâminas de cor escura.

Em seções carbonáticas os perfis de raios gama e sônico favorecem a identificação de variações de argilosidade e teor de MO, corroborando uma gênese comum para os ciclos periódicos reconhecidos nos perfis geofísicos, testemunhos e afloramentos. Entretanto, devido às limitações impostas pela amostragem (no poço SE-1 os testemunhos possuem menos de 2 m e foram coletados a cada 50 m) não foi possível verificar se de fato os ciclos reconhecidos nos perfis são causados por variações no COT e argilosidade. Mesmo o ciclo de menor dimensão, o ciclo precessional, possui comprimento de onda (2,5 m) maior que o intervalo amostrado por qualquer testemunho.

## 12.7 O EVENTO DISÓXICO-ANÓXICO DO CENOMANIANO-TURONIANO E INTERPRETAÇÕES DOS DADOS DE $\delta^{13}\text{C}$ E $\delta^{18}\text{O}$

A existência de um evento disóxico-anóxico global no final do Cenomaniano ou no início do Turoniano tem sido reportada por muitos autores, em várias partes do mundo (Jenkyns, 1980; Southam *et al.*, 1982; Arthur *et al.*, 1987). De um modo geral, as principais características geoquímicas e paleontológicas deste evento em seqüências carbonáticas são: aumento do COT; aumento dos valores do  $\delta^{13}\text{C}$  medido na fração carbonática e na matéria orgânica; diminuição da diversidade e abundância de organismos planctônicos e ausência ou escassez de bentônicos.

O evento disóxico-anóxico do Cenomaniano-Turoniano foi reconhecido e caracterizado na Bacia de Sergipe por vários autores utilizando diversos métodos (Koutsoukos, 1989; Mello *et al.*, 1989; Koutsoukos *et al.*, 1991; Takaki & Rodrigues, 1993;

Carmo, 1997). A origem deste episódio é associada à expansão do zona de mínimo oxigênio sobre a “plataforma”, num cenário de nível relativo do mar e produtividade primária elevados.

Na área estudada o evento disóxico-anóxico foi reconhecido no poço SE-1 e na pedreira Rita Cacete. Os dados de  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{18}\text{O}$  do poço SE-1 foram interpretados por Takaki & Rodrigues (1993) como correlativos ao evento disóxico-anóxico global da passagem do Cenomaniano para o Turoniano. O aumento do  $\delta^{13}\text{C}$  foi relacionado ao incremento da produtividade primária, deflagrado pela expansão da área da plataforma durante a elevação do nível relativo do mar, tese reforçada pelo aumento da concentração dos teores de estrôncio nos carbonatos. Já os valores menos negativos da curva de  $\delta^{18}\text{O}$ , no final do Turoniano, apontam para um resfriamento relativo das águas. Logo acima do evento, os autores registram um aumento anômalo de manganês, que foi interpretado como produto da mudança de um ambiente disóxico-anóxico para óxico (Fig. 12.14).

A integração dos dados geoquímicos do poço SE-1 com os perfis geofísicos e os dados bioestratigráficos ofereceu algumas informações adicionais sobre o evento disóxico-anóxico na bacia. O conteúdo de nanofósseis calcários no intervalo interpretado como anóxico-disóxico é muito pobre ou estéril. Nas camadas subjacente não existem espécies exclusivas do Turoniano, sugerindo deste modo uma idade cenomaniana para a base da seção. Em várias partes do mundo, a primeira ocorrência *A. albianus* tem sido posicionada na parte mais superior do Cenomaniano Superior, logo abaixo dos primeiros registros do evento disóxico-anóxico global. O término do evento tem sido posicionando logo abaixo da primeira ocorrência de *E. eximius* e *Q. gartneri*, portanto no Turoniano inferior (Bralower, 1988; Jarvis *et al.*, 1988). A ausência de *A. albianus* no poço SE-1 dificulta a correlação estratigráfica da base do evento. Já o término deste evento parece ser correlativo a outras seções estudadas (p.ex., Bacia Anglo-Paris e *North American Seaway*). Segundo Carmo (1997), que determinou a existência de três eventos disóxicos-anóxicos na Pedreira Votorantim, o evento estratigraficamente inferior, correlacionável ao evento anóxico global da passagem do Cenomaniano-Turoniano, seria integralmente de idade eoturoniana.

A interpretação dos perfis geofísicos sugere a existência de dois eventos transgressivos: o mais antigo neocenomaniano-eoturoniano, e outro mesoturoniano. Existe um descompasso entre os valores mais positivos da curva de  $\delta^{13}\text{C}$  e aos máximos transgressivos, sugerido pelos perfis geofísicos ou litológicos, fenômeno similar tem sido observado também em outros lugares (Schlanger *et al.*, 1987). O trabalho de Reymont *et al.* (1976) também

assinala que o principal evento transgressivo da Bacia de Sergipe ocorreu no Turoniano, salientando que o evento transgressivo da passagem Cenomaniano-Turoniano, presente em várias seções do norte e oeste Africano, não foi reconhecido na bacia (Fig. 12.14). A existência de uma correlação negativa entre as curvas de  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{18}\text{O}$  ( $r^2=-0,78$ ;  $n=30$ ) permite interpretar o comportamento destes parâmetros segundo um enfoque diferente do abordado por Takaki & Rodrigues (1993). A maior parte das publicações registram uma correlação positiva entre as curvas de  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{18}\text{O}$  na passagem do Cenomaniano para o Turoniano (Scholle & Arthur, 1980; Jarvis *et al.*, 1988; Jenkyns *et al.*, 1994), sendo raros os trabalhos que reconhecem padrões de correlação negativa entre essas curvas (Hilbrecht & Hoefs, 1986). O comportamento da curva de  $\delta^{18}\text{O}$  depende de diferentes variáveis deposicionais e pós-deposicionais, sendo que a correlação positiva, ou negativa entre o  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{18}\text{O}$  é freqüentemente interpretada como indicativa de diagênese (Tucker & Wrigth, 1990; Marshall, 1992; Hilbrecht *et al.*, 1992; Baum *et al.*, 1994). Em seções onde o processo de cimentação é muito intenso existe uma tendência da curva de  $\delta^{18}\text{O}$  tornar-se mais negativa sem afetar drasticamente a curva de  $\delta^{13}\text{C}$ .

Aparentemente algumas das mudanças evidenciadas na curva de  $\delta^{18}\text{O}$  podem estar relacionadas a diferentes estágios de cimentação influenciados por variações composicionais. Na curva de  $\delta^{18}\text{O}$  observa-se três deflexões para valores mais negativos, que coincidem com os momentos onde o perfil de raio gama assinala um aumento de argilosidade. Este comportamento sugere que a redução no grau de cimentação está associado ao aumento de argilosidade e ao deslocamento da curva para valores menos negativos, em relação aos valores primários. É possível que o sinal isotópico do oxigênio, devido à litificação do carbonato, esteja homogeneamente deslocado ao longo de toda a seção para valores mais negativos em relação aos valores primários (ver capítulo 6). A exceção seria os intervalos mais argilosos, onde devido à redução de cimento o  $\delta^{18}\text{O}$  assumiria valores menos negativos. Apesar da pouca influência deste processo sobre os valores do  $\delta^{13}\text{C}$ , é possível que a decomposição da MO acumulada nas fácies mais argilosas libere  $\text{CO}_2$  isotopicamente mais leve, alterando o sinal isotópico do cimento, principalmente, na parte inferior da seção onde os valores de COT são mais elevados (Fig. 12.14). Ainda que as alterações diagenéticas tenham influenciado a curva de  $\delta^{18}\text{O}$ , a tendência para valores menos negativo da base para o topo pode ser interpretada como indicativa de resfriamento das águas, conforme interpretação feita por Takaki & Rodrigues (1993).



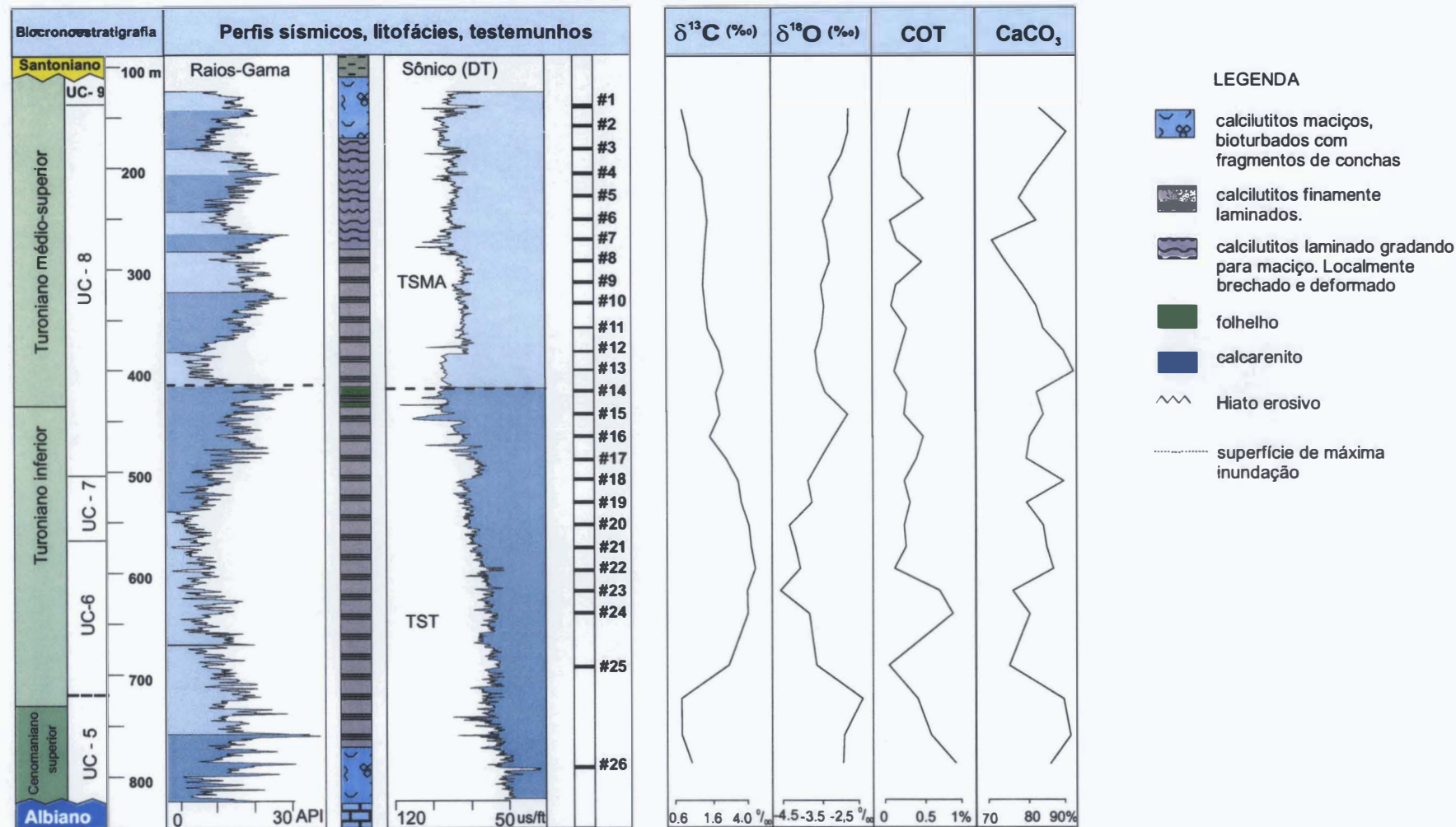


Figura 12.14 - Dados geoquímicos do poço SE-1 ( $\delta^{13}\text{C}$ ,  $\delta^{18}\text{O}$ , COT e  $\text{CaCO}_3$ , -RI). Os valores mais positivos do  $\delta^{13}\text{C}$  sugerem um aumento na produtividade primária e a tendência do  $\delta^{18}\text{O}$  para valores menos negativos indicam uma gradativa redução da temperatura no término do Turoniano. Nota-se uma correlação negativa entre as curvas  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{18}\text{O}$  que em parte pode ser interpretada como produto da cimentação. Na base da sequência, e próximo a SIM as amostras com o  $\delta^{18}\text{O}$  menos negativo e  $\delta^{13}\text{C}$  mais positivos refletem uma fácies mais argilosa, e menos cimentada. O  $\delta^{18}\text{O}$  em carbonatos mais puros tendem a ser mais negativos devido a formação de cimento isotopicamente mais leve. Nos estratos mais ricos em MO o cimento formado podem apresentar o  $\delta^{13}\text{C}$  deslocado para valores mais negativos, influenciados pela liberação de  $\text{CO}_2$  da degradação da MO

Neste poço, as curvas de COT e do teor de carbonato de cálcio não apresentam correlação entre si, nem com as curvas isotópicas e perfis geofísicos. Isto se deve em parte às características faciológicas, mas certamente reflete também o excessivo distanciamento das amostras.

Na pedreira Rita Cacete o evento disóxico-anóxico do Turoniano encontra-se evidenciado tanto na curva de  $\delta^{13}\text{C}$ , relativa à fração carbonática, como na curva gerada a partir da análise do  $\delta^{13}\text{C}$  da MO (Fig. 12.15). O acentuado decréscimo na curva do  $\delta^{13}\text{C}$ , da base para o topo, associado aos dados bioestratigráficos, sugerem que a seção amostrada na pedreira registra a base do Turoniano.

Os dados de  $\delta^{18}\text{O}$  e COT da pedreira Rita Cacete apresentam uma aparente correlação positiva (Fig. 12.12), não podendo ser comprovada estatisticamente devido ao reduzido número de amostras. A grande suscetibilidade dos dados de  $\delta^{18}\text{O}$  à alterações diagenéticas, e a intensa dolomitização observada nas amostras da pedreira, sugerem que os valores de  $\delta^{18}\text{O}$  são influenciados pela diagênese.

A composição isotópica do oxigênio na dolomita reflete a temperatura de precipitação deste mineral e a composição isotópica do fluido causador da dolomitização. Os processos ocorridos durante a precipitação de dolomita, pouco influenciam o valor isotópico do carbono, salvo que o fluido dolomitizante e a rocha original possuam assinaturas isotópicas de carbono muito distintas. Teoricamente, pressupondo-se a precipitação de calcita e dolomita a partir de um mesmo fluido e sob uma mesma temperatura, o valor de  $\delta^{18}\text{O}$  da calcita seria bem mais negativo que o da dolomita, cerca de 3-6 ‰ (Tucker & Wright, 1990; sub-capítulo 6.1).

Considerando-se o modelo de dolomitização adotado para esta seção, zona mista de águas meteóricas e marinhas, a explicação mais consistente para a covariação do COT e do  $\delta^{18}\text{O}$  parece relacionar-se com o processo de dolomitização modulado pela ciclicidade climática. Segundo Tucker & Wright (1990) este modelo de dolomitização depende basicamente da circulação das águas meteóricas em sub-superfície, na qual seria muito mais ativa sob condições climáticas úmidas. As camadas escuras, mais ricas em MO, teriam por isto um valor isotópico mais positivo.

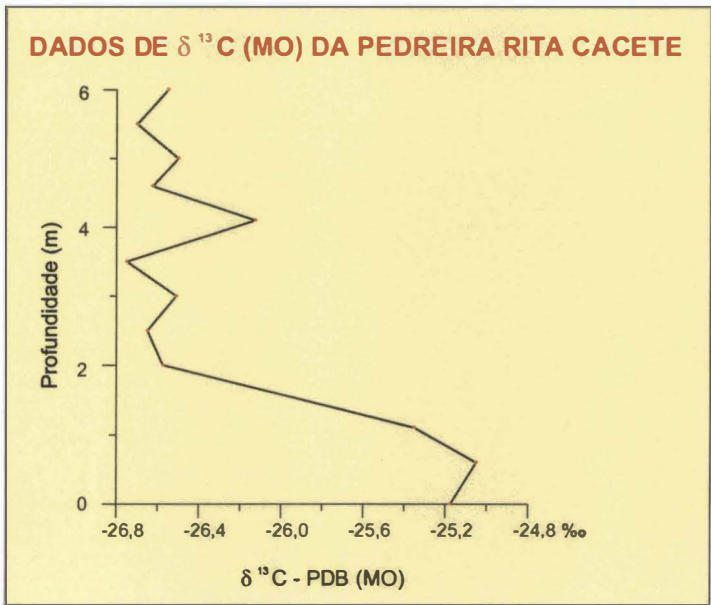


Figura 12.15 - Gráfico mostrando o comportamento do isótopo de carbono medido na MO da Pedreira Rita Cacete. As amostras analisadas foram coletada em uma seção estratigraficamente posicionada entre as duas seções estudadas neste trabalho e, provavelmente, correlacionável ao evento anóxico-disóxico observado na Zona de nanofóssil UC-6b (base do Turoniano; Fig. 12.14).

## PARTE V – INTEGRAÇÃO DOS DADOS E CONSIDERAÇÕES FINAIS

### 13. O CENOMANIANO SUPERIOR-TURONIANO NO OCEANO ATLÂNTICO SUL.

#### 13.1 OS EVENTOS EROSIVOS E TRANSGRESSIVOS

A análise bioestratigráfica dos quatro poços estudados (DSDP-356, DSDP-364, DSDP-511 e DSDP-530A) demonstra que os registros do Turoniano são mais completos do que sugeriam os trabalhos publicados anteriormente (Perch-Nielsen, 1977; Proto-decima *et al.*, 1978; Stradner & Steinmentz, 1984; Magniez-Jannin & Muller, 1987). Por outro lado, considerando a ampla extensão do Oceano Atlântico Sul e seus diversos contextos tectônicos e deposicionais, o número de poços perfurados pelo DSDP-ODP que atingiram a seção neocretácica é bastante reduzido. O DSDP-ODP perfurou cerca de 108 áreas (*sites*) no Atlântico Sul e costa oeste da África até a latitude de 20° N, sendo que somente 16 destas perfurações alcançaram rochas mais antigas que o Coniaciano. Destas, somente 7 testemunharam rochas datadas, seguramente, como do neocenomaniano ou Turoniano (poços 356, 364, 367, 370, 511, 530A e 959; Fig. 13.1).

Mesmo considerando a imprecisão dos dados bioestratigráficos das perfurações mais antigas, intervalos sem amostragem, e o número reduzido de poços cuja distribuição geográfica é muito irregular, fica claro que o registro Cenomaniano-Turoniano é pouco espesso ou inexistente em grande parte do Oceano Atlântico. Quando estes andares encontram-se presentes, observa-se uma discordância erosiva regional na passagem Cenomaniano-Turoniano, sendo freqüente as situações onde os estratos do Turoniano ou Cenomaniano Superior estão sobrepostos aos do Albiano ou Cenomaniano Inferior. Para alguns autores estas erosões teriam sido causada pelo aumento da intensidade das correntes de fundo na fase final da separação da margem equatorial do Brasil com o norte da África (Sclater *et al.*, 1977; Magniez-Jannin & Muller, 1987; Zimmerman *et al.*, 1987). A análise bioestratigráfica mais acurada dos poços DSDP-356, DSDP-364 e DSDP-511 permite associar mais de um hiato a este evento. Pode-se interpretar que a separação dos continentes tenha causado mudanças oceanográficas aos pulsos, sendo que a intensidade do registro destas modificações foi distinta ao longo do paleo oceano Atlântico; ou pode-se ainda supor que exista



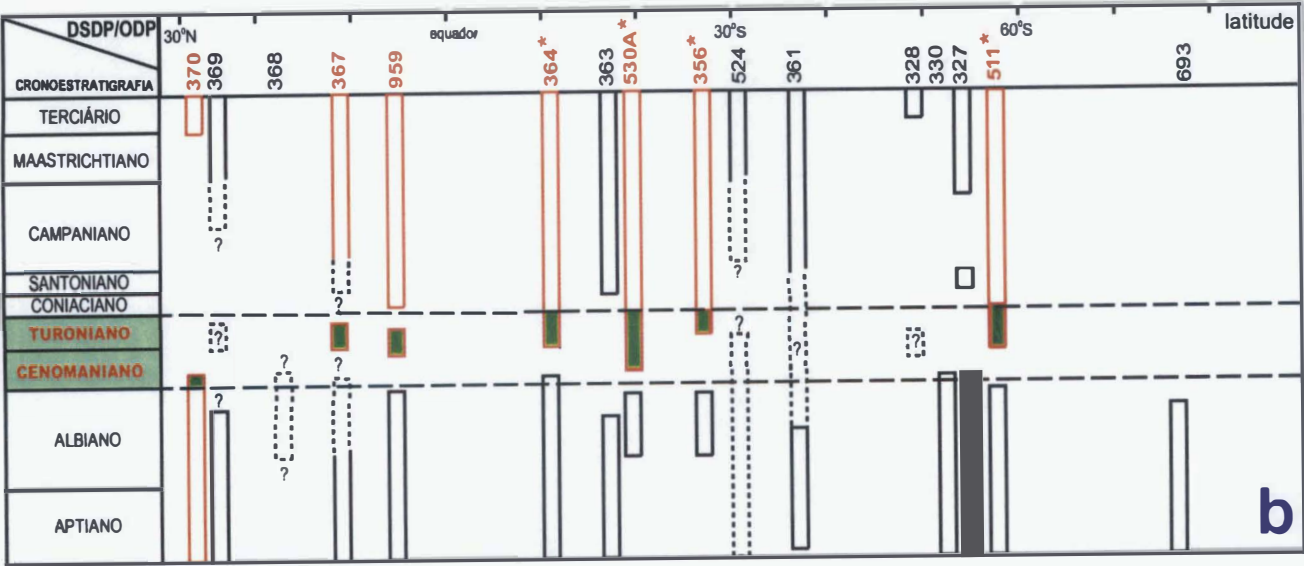
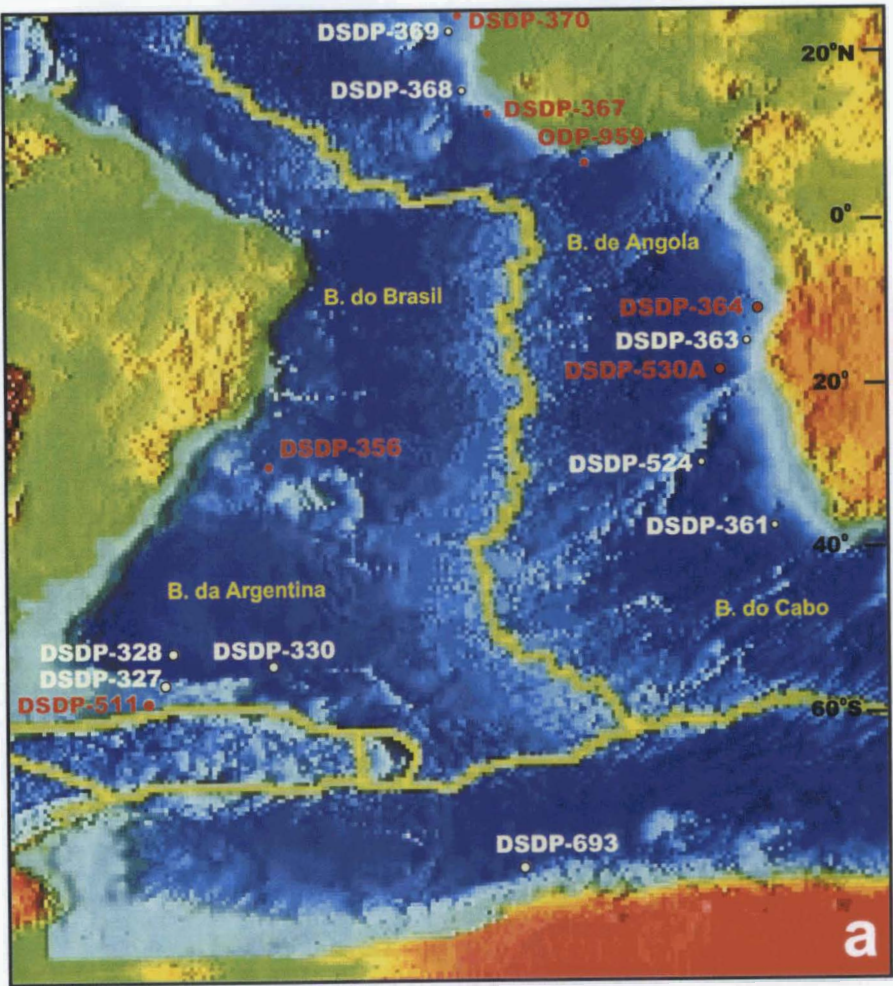


Figura 13.1 - Localização dos poços do DSDP/ODP do Atlântico Sul que atravessaram a seção cenomaniana-turoniana (a). Seção esquemática mostrando o intervalo estratigráfico reconhecido nestes poços (b). Em vermelho estão assinalados os poços que testemunharam o intervalo Turoniano-Cenomaniano Superior. Os asteriscos marcam os poços estudados.



uma defasagem nos processos erosivos causados por este episódio, gerando hiatos diácronos. No poço DSDP-364 o principal evento erosivo é mais antigo que a idade do limite superior da biozona de nanofósseis UC-7. Já no poço DSDP-356, a ausência da Subzona UC-6a demonstra que a principal discordância está estratigraficamente posicionada abaixo do topo da Subzona UC-6b. No poço DSDP-511, a ausência de dados no intervalo correspondente às zonas UC-7 e UC-6 prejudica uma abordagem deste tipo; porém, é provável que pelo menos parte destas zonas estejam ausentes juntamente com a maior parte do Cenomaniano Superior. Mesmo no poço DSDP-530A, perfurado na planície abissal da Bacia de Angola, pode-se inferir que uma parte do Cenomaniano Inferior foi erodida (Fig. 13.2). De qualquer forma este poço é o único com a seção coniaciana-cenomaniana superior relativamente completa, possivelmente devido a sua localização. Perfurado na planície abissal, esta seção esteve protegida das correntes oceânicas mais fortes e dos processos erosivos de grande magnitude.

Uma análise dos hiatos existentes nos depósitos do Cenomaniano e Turoniano das bacias da plataforma continental brasileira e africana é mais difícil de ser feita. Apesar do grande número de poços perfurados pela PETROBRAS nas bacias brasileiras, e por diversas companhias européias e americanas nas bacias africanas, a quantidade de dados publicados é bastante restrita. No caso do Brasil é mais fácil obter-se informações, ainda que em parte estas reflitam o conhecimento dos anos 80. As publicações mais antigas utilizam dados referentes à uma fase de exploração de petróleo no Brasil, onde a prospecção restringia-se à parte interna da plataforma. A PETROBRAS progressivamente vem perfurando poços em lâminas d'água mais profundas e, deste modo vem alterando consideravelmente o conhecimento sobre o Cretáceo Superior das bacias brasileiras. Quanto às bacias africanas da margem oeste, as publicações mais recentes são de cunho regional, fornecendo poucos dados que subsidiem uma análise detalhada dos eventos erosivos do Cenomaniano-Turoniano.

Os resultados do primeiro simpósio sobre a evolução do Atlântico Sul realizado em 1987, refletem o estágio de conhecimento do Cretáceo das bacias marginais brasileiras dos anos 80. Os estudos realizados nesta época em diversas áreas salientam a existência de um hiato de idade Cenomaniano-Turoniano, sobretudo nas áreas proximais (Viviers & Regali, 1987; Viviers & Beurlen, 1987; Azevedo *et al.*, 1987).

Os estudos mais recentes, relativos a águas mais profundas e com melhor controle bioestratigráfico, demonstram que a seção Cenomaniano-Turoniano está presente em quase todas as bacias da costa brasileira. Este intervalo cronoestratigráfico é representado por uma

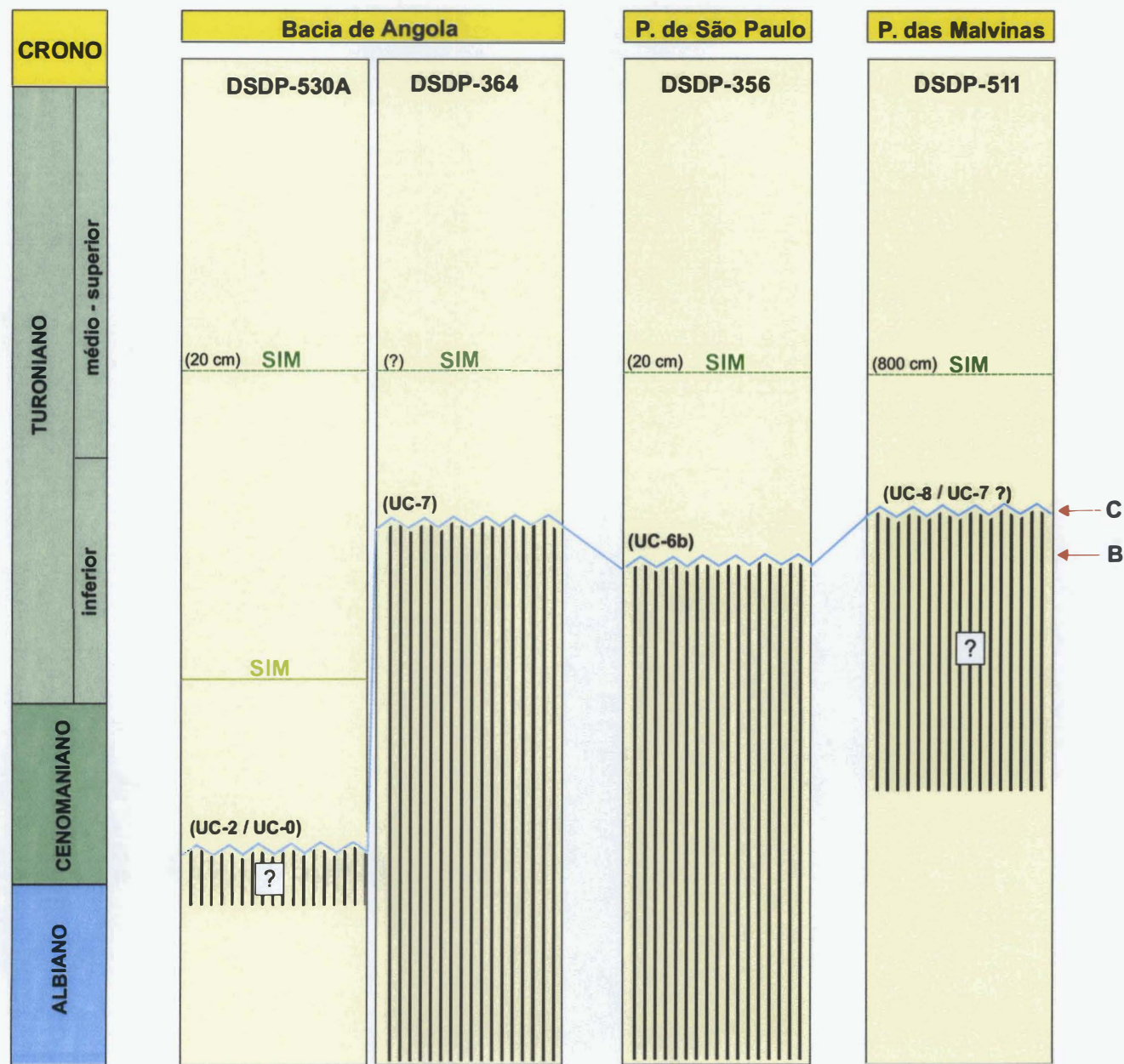


Figura 13.2 - Correlação estratigráfica dos poços do DSDP. Observa-se que a Biozona UC-8 consiste em um intervalo condensado nos poços situados ao norte da elevação de Walvis (DSDP-356, DSDP-364 e DSDP-530A). Com exceção do poço DSDP-530A, nos demais não se pode evidenciar a superfície de máxima inundação da Zona UC-5a/UC-6b. Neste poços é possível reconhecer no mínimo dois eventos erosivos regionais no Turoniano, denominados de B e C.

seqüência deposicional freqüentemente pouco espessa e limitada na base e no topo por discordâncias erosivas.

Pereira (1994) reconhece nas bacias de Potiguar, Sergipe, Campos, Espírito Santo e Santos uma seqüência deposicional de 2º/3º ordem limitada na base por uma discordância de idade mesocenomaniana, e no topo por uma discordância pré-turoniana. Segundo o autor, a discordância basal nem sempre é facilmente reconhecida, porém a discordância de topo é um evento conspícuo em toda a margem continental brasileira, sendo representativa de um evento tectônico de caráter global.

Nas bacias do Ceará e Potiguar, Antunes (1998) reconhece a presença de estratos do Cenomaniano e Turoniano em vários poços. Em alguns, este intervalo é limitado na base e no topo por uma discordância erosiva, porém a resolução bioestratigráfica não permite a definição de hiatos de pequena amplitude temporal posicionados dentro deste andares (Fig. 13.3).

Segundo Pereira (1994), o evento erosivo regional do Cenomaniano, não é bem caracterizado na Bacia de Sergipe. A presença de brechas é o único sinal sugestivo da existência de um trato de sistema de mar baixo posicionado logo acima desta discordância. O término da sedimentação carbonática da Formação Cotinguiba subjacentes aos depósitos siliciclásticos da Formação Calumbi, assinalam em terra uma discordância de idade coniaciana (Fig. 13.3).

Segundo Perreira (1994) na Bacia do Espírito Santo a base da seqüência Cenomaniana-Turoniana é constituída de calcarenitos, brechas carbonáticas e arenitos que assinalam um trato de sistema mar baixo depositado sobre uma discordância regional de idade eocenomaniana. Oliveira *et al.* (1994) realizaram uma análise estratigráfica na área norte da Plataforma de Regência e concluíram que os depósitos do Turoniano foram erodidos.

Na Bacia de Campos, Martins & Moreira (1994) assinalam a existência de uma seqüência deposicional constituída por margas, folhelhos e arenitos de idade neocenomaniana-eoturoniana limitada na base e no topo por discordâncias regionais. De acordo com Oliveira (1997), o Cenomaniano-Turoniano na Bacia de Campos freqüentemente está ausente ou é pouco espesso; porém, excepcionalmente, pode atingir espessuras da ordem de 200 m (Fig. 13.3).

Pereira (1990) reconheceu na Bacia de Santos um evento erosivo de idade turoniana, delimitando o topo de uma seqüência deposicional de idade neocenomaniana-



## DEPÓSITOS COM PADRÃO RÍTMICOS:

**A** - Sucessão de carbonatos hemipelágicos com margas ricas em MO depositados no mar epicontinental do Oeste dos Estados Unidos (*North American Seaway*; paleoprodutividade de 200-300 m). São sugeridos mecanismos múltiplos para a origem dos ciclos: influxo de terrígenos, produtividade de carbonato e MO (Sageman *et al.*, 1997).

**B** - Norte da Alemanha - Depósitos pelágicos-hemipelágicos com carbonatos e margas "betuminosas" (Niebuhr & Prokoph, 1997).

**C** - Depósitos cíclicos de margas e carbonatos em seções sedimentares da Inglaterra (Bacia Anglo-Paris). Estes ciclos são modulados pela variação de temperatura e de produtividade primária (Ditchfield & Marshall, 1989; Windley, 1995).

**D** - Depósitos carbonáticos pelágicos da Bacia de Tarfaya (Marrocos), paleoprodutividade de 300m. Sucessão de lâminas de margas ricas em MO e carbonatos pelágicos como produto de oscilação do influxo continental, induzidos por variações na temperatura das águas superficiais (Kuhnt *et al.*, 1997).

**E** - Seção de El Kef (Tunísia); sequência cíclica de carbonato e margas depositados em ambiente batial superior. A origem dos ciclos foi atribuída à produtividade e à dissolução (Nederbragt & Fiorentino, 1999).

**F** - Poço DSDP-367 (Bacia do Cabo Verde). Área oceânica com grande profundidade (4748 m). Sucessão de turbiditos siltico-argilosos (folhelhos negros e verdes) superimpostos a ciclos de oxidação e redução (Dean *et al.*, 1978).

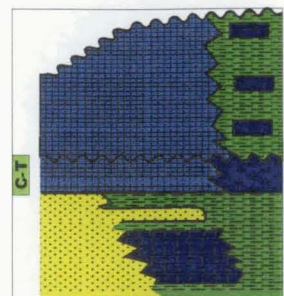
**G** - Depósitos carbonáticos da Bacia de Sergipe; sucessão de margas ricas em MO e carbonatos muito finos (calciturbiditos com contribuição pelágica). Ciclos determinados pela variação da produtividade primária, produção e exportação de carbonato (este trabalho).

**H** - Depósitos pelágicos de águas profundas (2448 m) no poço DSDP-364 (Bacia de Angola). Sucessão de carbonatos pelágicos, argitos e folhelhos negros. Ciclos de produtividade (este trabalho).

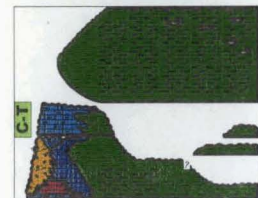
**I** - Depósitos pelágicos-hemipelágicos e turbidito siltico-argilosos do poço DSDP-530A (planície abisal da Bacia de Angola). Sucessão de argilitos e folhelhos ricos em MO, produzidos por ciclos de oxidação e produtividade (este trabalho).

**J** - Depósitos nerítico externo-batial com caráter cíclico pouco definido na Bacia de Santos. Os ciclos são evidenciados por mudanças faciológicas sutis e resultam de variações no regime de oxigenação e produção de carbonato (este trabalho).

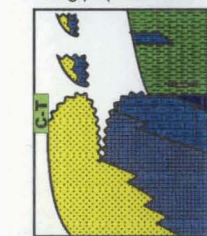
**K** - Depósitos pelágicos de águas profundas (3175 m) do poço DSDP-356 (Platô de São Paulo). Sucessão de carbonatos pelágicos, argitos e folhelhos negros. Ciclos de diluição e dissolução (este trabalho).



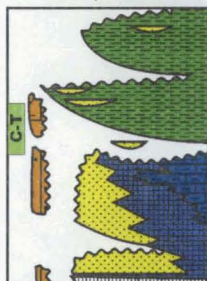
1- Potiguar (Mod. Araripe & Feijó, 1994)



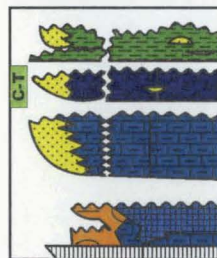
2- Sergipe (Mod. Koutsoukos, 1989).



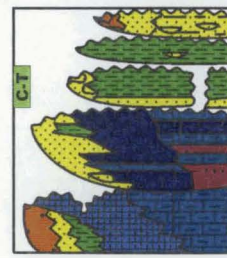
3- Bahia Sul (Mod. Neto *et al.*, 1994).



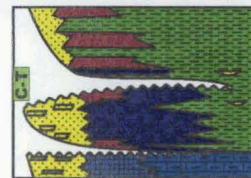
4 - Espírito Santo (Mod. Vieira *et al.*, 1994).



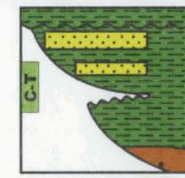
5 - Campos (Mod. Rangel *et al.*, 1994).



6- Santos (Mod. Pereira & Feijó, 1994).



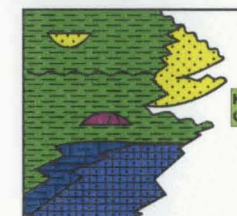
7- Pelotas (Mod. Dias *et al.*, 1994).



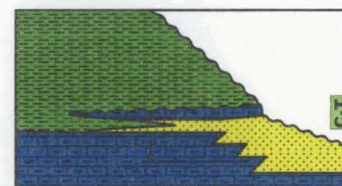
8- Rio Colorado (Mod. Coward *et al.*, 1999).



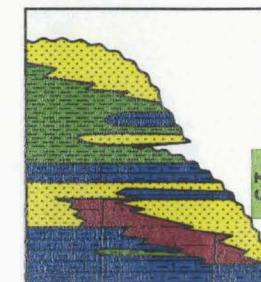
9- Bacias do SW da África (Mod. Coward *et al.*, 1999).



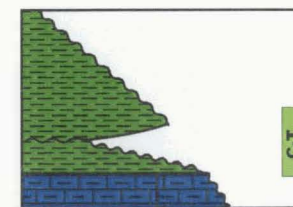
10- Cuanza (Mod. Coward *et al.*, 1999).



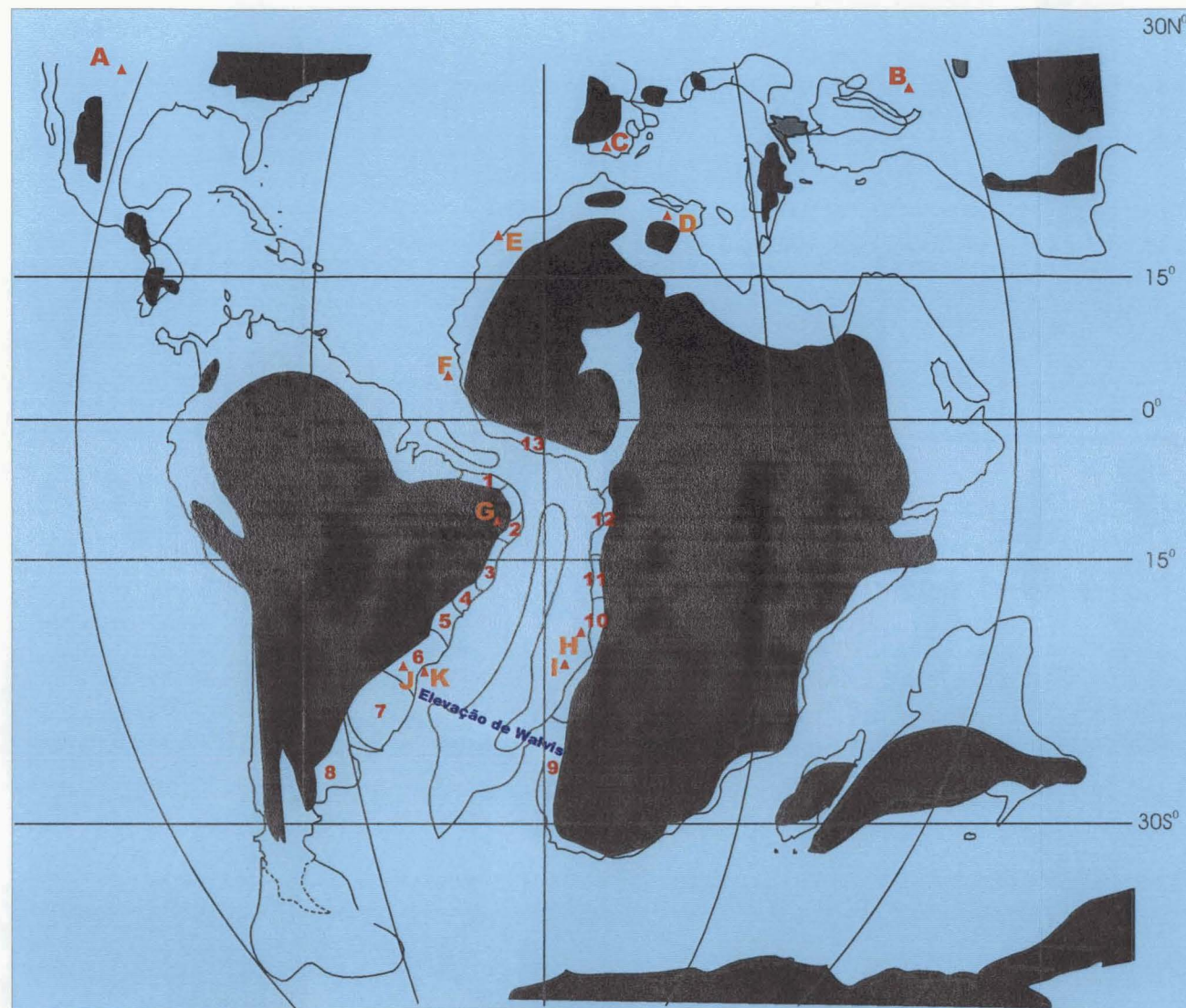
11- Baixo Congo (Mod. Vernet *et al.*, 1996).



12- Gabão (Mod. Coward *et al.*, 1999).



13- Bacias da Costa do Marfim, Gana e Rio Tano (Mod. Chierri, 1996).



### LEGENDA

- Arenito
- Folhelho
- Calcarenito
- Calcilutito
- Marga

Intervalo Cenomaniano-Turoniano

6 Localização das bacias

▲K Localização dos depósitos rítmicos

Figura 13.3 - Localização paleogeográfica das bacias da margem continental sul-americana e africana e de alguns ritmitos. A coluna litoestratigráfica das bacias ilustra a sucessão sedimentar. No mapa paleogeográfico do Turoniano observa-se que a distribuição dos depósitos rítmicos e carbonáticos neste intervalo cronoestratigráfico é similar. Os ritmitos, independente do contexto deposicional, ocorrem tanto no hemisfério sul como norte, preferencialmente, abaixo da paleolatidade de 35°; enquanto que os carbonatos distribuem-se entre as paleolatitudes de 20° S e 35° N. O controle comum na distribuição destes depósitos é exercido pelo clima. Os carbonatos dependem da temperatura, salinidade e nutrientes; enquanto que os depósitos rítmicos são mais comuns em cinturões climáticos onde períodos secos e úmidos se alternam. O mapa paleogeográfico do Turoniano foi modificado de Smith *et al.*, (1994); a linha em torno dos continentes destaca áreas de menor batimetria.



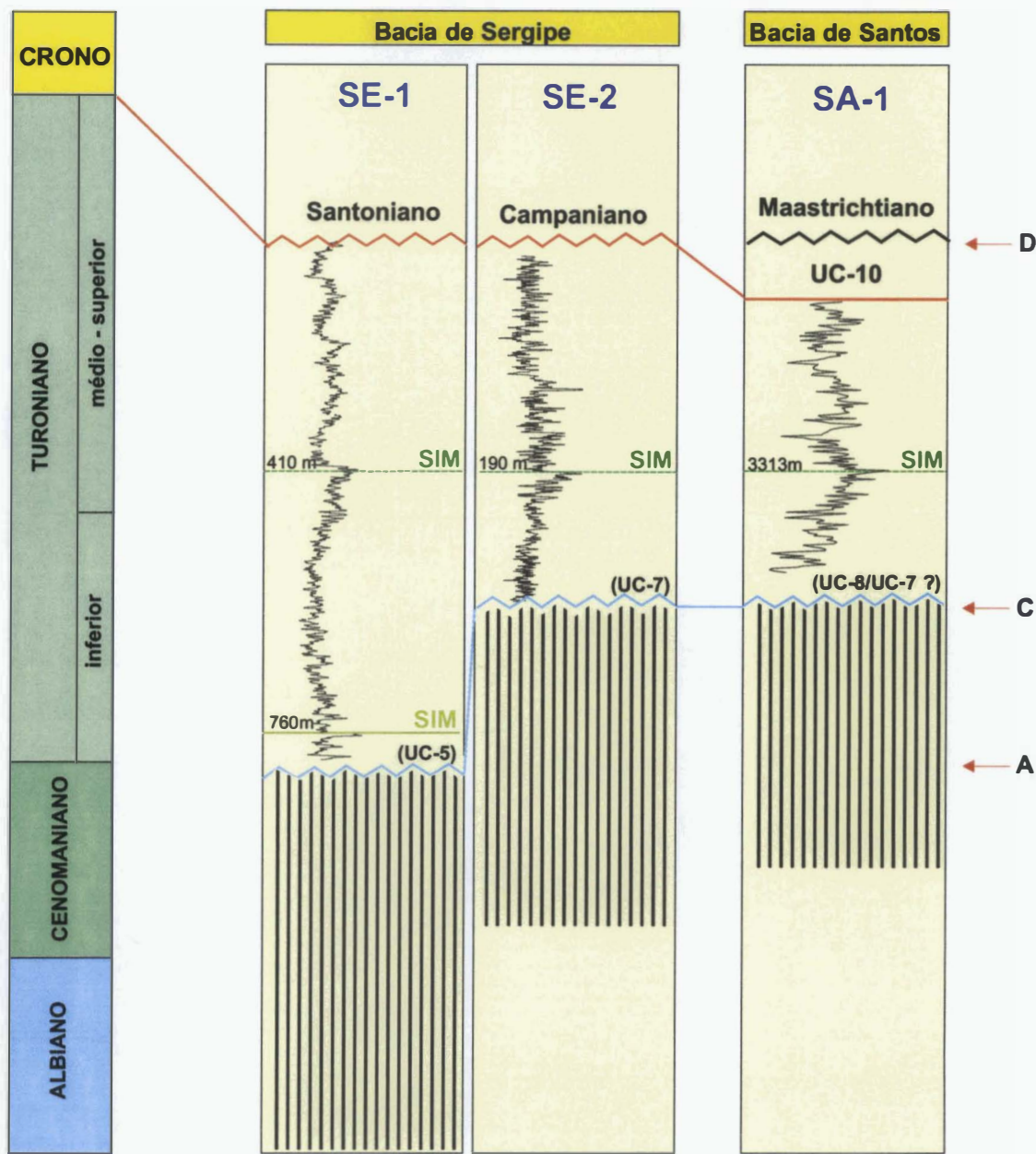
eoturoniana, e outro de idade pós-turoniana, delimitando uma seqüência de idade meso-neoturoniana.

Fontana (1994) reconhece na Plataforma de Florianópolis uma seqüência deposicional turoniana, definida na base por um evento erosivo eoturoniano, e no topo por um evento de idade campaniana, que ao longo da plataforma foi responsável pela erosão de depósitos do Santoniano, Coniaciano e Turoniano superior.

Os três poços estudados da margem continental brasileira, dois na Bacia de Sergipe e um na Bacia de Santos, fornecem informações muito similares aquelas apresentadas por Pereira (1990) e Fontana (1994). A seqüência reconhecida no poço SA-1, Bacia de Santos, de idade turoniana-coniaciana (zonas de nanofósseis UC-10/UC-7), sobrepõe-se discordantemente sobre os estratos do Cenomaniano médio-inferior (zonas de palinórfos *Classopolis major* e nanofósseis UC-3/UC-4). No topo, a seqüência é limitada por uma discordância que erodiu o Campaniano e o Santoniano. Na Bacia de Sergipe, no poço SE-1 a seqüência deposicional estudada é delimitada na base por um evento erosivo de idade neocenomaniana (UC-5), estando sobreposta a rochas de idade albiana. No poço SE-2, a base da seqüência é delimitada por um evento erosivo de idade eoturoniana (Biozona UC-7), sendo que os estratos do Turoniano inferior estão depositados sobre uma seção do Cenomaniano inferior. O limite superior desta seqüência no poço SE-1 é caracterizada pela ausência do Coniaciano e no SE-2 pela ausência do Coniaciano e do Santoniano (Fig. 13.4).

Nas bacias do Norte da África (Tunísia, Argélia, Marrocos) o evento erosivo da base do Turoniano, reconhecido nas bacias brasileiras, não foi registrado. Aparentemente existe uma continuidade dos depósitos do Cenomaniano e Turoniano (Robaszynski *et al.* 1993; Busson, *et al.*, 1999; Holbourn, *et al.*, 1999; El Albani *et al.*, 1999). Entretanto, nas bacias da Costa do Marfim-Gana e Rio Tano os estratos do Cenomaniano Superior e Turoniano são pouco espessos e limitados na base e no topo por discordâncias regionais (Tucker, 1992 e Chierci, 1996; Fig 13.3). Na Fossa de Benue a passagem Cenomaniano-Turoniano aparentemente também está preservada; contudo, os depósitos do Cenomaniano Superior estão sobrepostos a rochas do Aptiano-Albiano (Gebhardt & Reinhold, 1999), caracterizando uma discordância de idade mesocenomaniana. Segundo Peteers (1978), em algumas partes da bacia, os estratos de Turoniano-Coniaciano são muito espessos, chegando a atingir 2000 m, limitados na base e no topo por discordâncias regionais. Na Bacia do Baixo Congo a passagem do Cenomaniano para o Turoniano está registrada. As margas que





LEGENDA

- perfil de raios gama
- A** eventos erosivos
- 410 m **SIM** superfície de inundação máxima da Zona UC-8 e profundidade
- 760 m **SIM** superfície de máxima inundação da Zona UC-5c/UC-6a e profundidade
- (UC-5)** base da seqüência deposicional e biozona reconhecida logo acima da discordância
- Topo da seção estudada ( Zona UC-9)**
- concordante discordante
- hiato

Figura 13.4 - Correlação estratigráfica dos poços da plataforma continental brasileira. Foram reconhecidos três eventos erosivos (A, C e D) e dois eventos transgressivos importantes.

caracterizam os depósitos do Cenomaniano Superior são gradativamente substituídas por folhelhos, assinalando o principal evento transgressivo do Cretáceo. O Turoniano superior formado por carbonatos de águas rasas foi parcialmente erodido (Vernet *et al.*, 1996). Na Bacia de Cuanza também pode-se evidenciar um evento erosivo no Coniaciano (Fig.13.3).

Conclusivamente, observa-se que nos poços do DSDP-ODP, margem continental brasileira leste, e bacias marginais da costa oeste africana situadas ao sul da Costa do Marfim, a existência de pelo menos quatro eventos erosivos no intervalo Cenomaniano Superior – Coniaciano. O mais antigo de idade neocenomaniana (Biozonas UC-5), dois de idade turoniana (biozonas UC-6b e UC7), e um mais novo, de idade pós-turoniana (Figs. 13.2, 13.3 e 13.4).

O eventos transgressivo mais importante reconhecido corresponde à Zona UC-8, existindo um mais antigo que foi reconhecido apenas nos poços SE-1 e DSDP-530A, posicionados nas zonas UC-5b/UC-6a (Figs. 13.2 e 13.4). Este evento freqüentemente não é reconhecido porque a seção da passagem do Cenomaniano-Turoniano encontra-se erodida.

Nos poços da plataforma continental brasileira o evento transgressivo da Biozona UC-8 pode ser identificado nos perfis geofísicos. Na seção turoniana, o incremento nos valores das curvas de raio gama e sônico na Bacia de Sergipe representam um aumento de argilosidade, produto do afogamento da plataforma carbonática rasa. Na Bacia de Santos, estas curvas retratam os depósitos com COT mais elevado, produto da expansão da zona de mínimo de oxigênio sobre a plataforma, estabelecendo melhores condições para a acumulação e preservação da MO (Fig. 13.4).

Nos poços do DSDP o evento transgressivo do Turoniano médio-superior está representado pela condensação da Biozona UC-8 nos poços DSDP-356, DSDP-364 e DSDP-530A. No poço DSDP-511 o registro deste evento parece estar atenuado. Esta constatação permite interpretar que esta transgressão esteja relacionada a um evento tectônico cujos efeitos foram mais acentuados na parte setentrional do Oceano Atlântico Sul como, por exemplo, aumento da taxa de soerguimento da cadeia vulcânica meso-Atlântica na parte setentrional do oceano (Rabinowitz & La Breque, 1979; Fig. 13.2).

Nos poços de águas profundas, o evento transgressivo do neocenomaniano /eoturoniano (UC-5b/UC-6b) somente foi registrado no poço DSDP-530A. Este evento tem sido associado à elevação do nível relativo do mar causada pela aceleração da taxa de expansão do fundo oceânico, possuindo um caráter mais amplo do que o evidenciado no

Turoniano médio (Biozona UC-8). No poço DSDP-530A, o aumento brusco do número de camadas mais ricas em MO nos testemunhos #97 e #98 pode ser interpretado como produto da transgressão do neocenomaniano-eoturoniano.

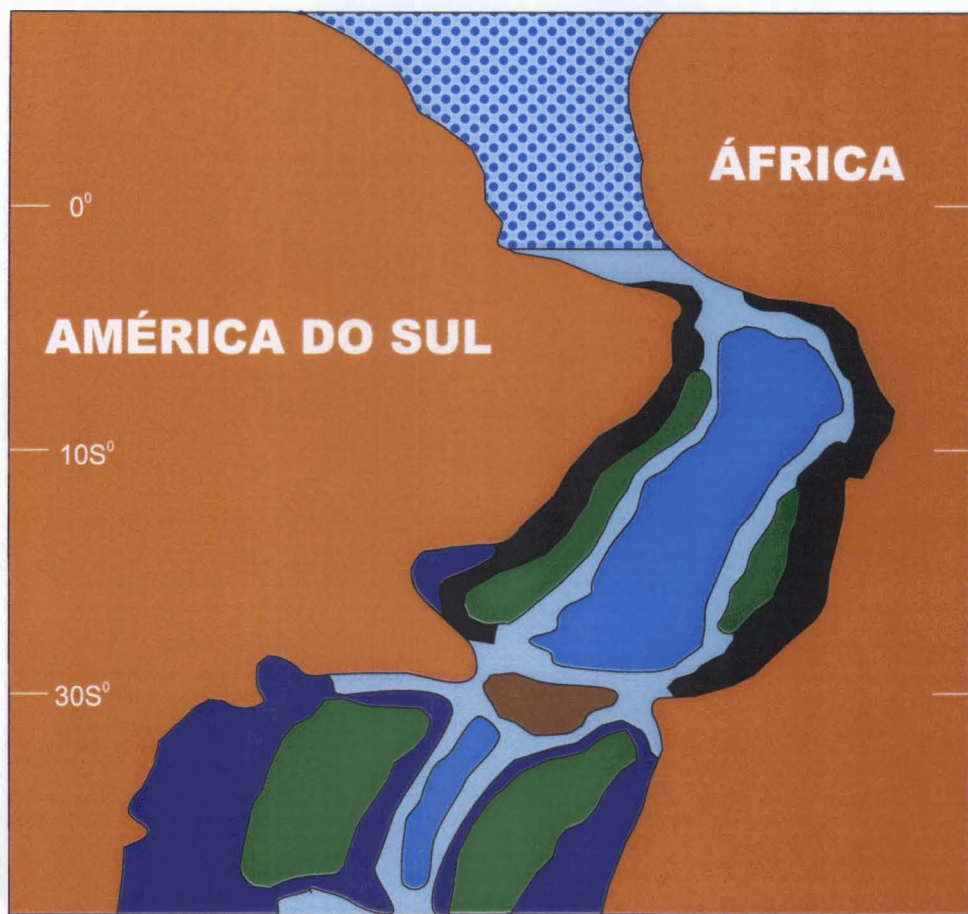
### 13.2 DISTRIBUIÇÃO PALEOGEOGRÁFICA DAS ROCHAS CARBONÁTICAS E DOS RITMITOS

Na área oceânica, o mapa paleofaciológico feito por Melguen *et al.* (1978) retrata que os depósitos carbonáticos ricos em MO do Santoniano de águas mais profunda (mais de 2000 m) situam-se principalmente ao norte das elevações de Walvis e Rio Grande (Fig. 13.5). Cabe considerar que este mapa apesar de relativamente antigo, ainda representa o estágio atual de conhecimento. A base de dados utilizada é proveniente das perfurações feitas pelas *legs* 3, 4, 36, 39, 40 e 41 do DSDP. Posteriormente, outros poços acrescentaram novos dados, porém, não alteram a delimitação das principais litofácies representadas no mapa.

Nas colunas litoestratigráficas das bacias da plataforma continental sul americana e africana sumariadas na figura 13.3, nota-se que os depósitos carbonáticos constituídos por calcarenitos e calcilutitos do Cenomaniano Superior e Turoniano também posicionam-se preferencialmente ao norte das elevações de Walvis e Rio Grande.

Nas bacias da plataforma continental sul americana observa-se a ocorrência de depósitos carbonáticos de idade neocenomaniana-turoniana desde a margem equatorial (Bacia Potiguar) até as bacias do sul da Bahia (bacias de Almada; Camamu; Jequitinhonha; Cumuruxatiba). Nas bacias do Espírito Santo, Campos, Santos e Pelotas os depósitos carbonáticos (calcarenitos e calcilutitos) estão restritos principalmente a base do Cenomaniano e Albiano. No Cenomaniano médio-Superior e Turoniano dominam margas e folhelhos calcíferos em águas mais profundas. Mais ao sul, na Bacia do Rio Colorado, nem mesmo no Albiano existem depósitos carbonáticos (Fig. 13.3).

Segundo Pereira (1994), as rampas carbonáticas características do Albiano-Cenomaniano teriam desaparecido gradualmente do sul (Bacia de Santos) para o norte (Bacia de Sergipe). Para este autor, na seqüência sobreposta, do sul (Bacia de Santos) para o norte (Bacia de Sergipe), ocorre uma redução no volume de terrígenos concomitante com o aumento da sedimentação carbonática. Pereira (1994), associa o término das condições propícias à



Áreas emersas.

Carbonatos formados por nanofósseis e foraminíferos planctônicos.

Margas compostas por 30-60% de carbonato, essencialmente nanofósseis ou produto da dissolução destes organismos.

Vazas oceânicas com menos de 10% de carbonato.

Argilitos.

Folhelhos negros.

Área não estudada.

Figura 13.5 - Distribuição das litofácies de águas profundas no Oceano Atlântico Sul no intervalo Santoniano-Campaniano segundo Melguen *et al.* (1978). As fácies carbonáticas e os folhelhos negros são mais expressivos ao norte das elevações de Rio Grande e Walvis. Ao sul destas elevações a ocorrência de carbonatos e folhelhos negros é muito restrita (Modificado de Melguen *et al.*, 1978).

formação de carbonatos nas bacias da margem leste ao soerguimento da Serra do Mar, no final do Turoniano. A continuidade deste tipo de depósitos até o Campaniano ficaria restrito somente à Bacia Potiguar.

Nas bacias africanas, compreendidas entre a Costa do Marfim e o delta do Rio Niger, os depósitos turonianos caracterizam-se tanto por rochas siliciclásticas como carbonáticas. As bacias nigerianas de Calabar (Flanco de Calabar) e Benue (Fossa central de Benue) são constituídas por sucessões de folhelhos e carbonatos. Mais ao Norte, o poço ODP-959, em frente à Costa do Marfim, recuperou calcarenitos, conglomerados e “pebbles” fosfáticos intercalados com folhelhos (Holbourn *et al.*, 1999). Ao sul, nas bacias do Gabão e Baixo Congo, o intervalo Cenomaniano-Turoniano apresenta predominantemente rochas carbonáticas. Já na Bacia de Cuanza este tipo de depósitos está restrito ao Albiano. Ao sul, nas bacias da Namíbia, Walvis e Orange (bacias do SW da África) praticamente não existem carbonatos na seção cretácica (Figura 13.3; Coward *et al.*, 1999).

Dependendo da reconstituição paleogeográfica adotada, pode-se dizer que existe similaridade na distribuição dos carbonatos nas duas margens continentais, podendo-se posicionar o limite sul da ocorrência dos carbonatos turonianos em torno da paleolatidade de 20° S. Os folhelhos negros com COT elevado das bacias da plataforma africana e brasileira, também apresentam distribuição paleogeográfica similar e são passíveis de correlação. Segundo Telnaes-Nils *et al.* (1998) os folhelhos turonianos da Bacia da Namíbia são geoquimicamente similares aos da Bacia de Pelotas, da mesma forma que os folhelhos das bacias do Congo e Cuanza são similares às bacias brasileiras da margem leste situadas ao norte da Bacia de Santos.

A distribuição dos carbonatos segundo faixas latitudinais é diretamente relacionada ao clima. Segundo Fitchen (1997) o clima atua diretamente sobre diversos parâmetros que controlam a produção de carbonatos. Deste modo, a quantidade de luz, salinidade, temperatura atmosférica e das águas oceânicas, volume de precipitação pluviométrica, evaporação e o influxo continental, são determinantes no tipo e quantidade de carbonato gerado. Atualmente as plataformas carbonáticas distribuem-se entre as latitudes de 30° N e S; porém, esta faixa de ocorrência foi bastante variável ao longo do tempo geológico. Estas variações estão relacionadas à redução e expansão das faixas tropicais e subtropicais e mudanças na circulação oceânica. No caso específico do Turoniano no Atlântico Sul, a restrição dos carbonatos à latitude de 20° S deve-se, principalmente, à barreira oceanográfica



Rio Grande-Walvis. As águas aquecidas nas latitudes intermediárias eram, provavelmente, bloqueadas ao sul pelas elevações de Rio Grande e Walvis. Deste modo, as águas com temperatura e salinidade mais adequadas à formação de carbonatos não ultrapassavam a latitude de 20° S. Ao norte, apesar de estreita, a passagem do oceano Atlântico Sul para o Atlântico Norte, promoveu uma circulação oceânica mais eficiente. Pesquisas paleontológicas concluem que existe uma grande similaridade entre as faunas bentônicas e planctônicas do Mar do Tétis, bacias marginais africanas e brasileiras (Dias-Brito, 1995; Koutsoukos, 1992; Seeling & Bengtson, 1999). De forma similar, as condições mais propícias ao desenvolvimento dos folhelhos negros também restringiram-se à parte setentrional do Oceano Atlântico Sul; contudo, tais condições avançaram para latitudes um pouco mais altas.

Uma compilação dos estudos desenvolvidos sobre os depósitos do Cenomaniano Superior-Turoniano do Oceano Atlântico e mares epicontinentais relacionados (*seaways*) mostra uma acentuada concordância entre a distribuição das rochas carbonáticas pelágica-hemipelágicas e folhelhos negros com os depósitos com aspecto rítmico. Sugerindo que as rochas formadas no neocenomaniano e Turoniano situadas em latitudes intermediárias (20° - 40°S-N) apresentam o registro de ciclos orbitais-climáticos mesmo considerando diferentes contextos deposicionais (Fig. 13.3). Em contrapartida, os poços perfurados pelo DSDP no platô das Malvinas (DSDP-327, DSDP-328, DSDP-330 e DSDP-511) e seções turonianas de águas relativamente profundas do Norte do Canadá (Grupo Colorado, Formação *Second White Specks*), ambos situados em altas latitudes, não apresentam características que sugiram a existência de registros de ciclicidade (Ludwig, *et al.*, 1983; Wallace-Dudley & Leckie, 1993; Schröder-Adams *et al.*, 1996).

Conclui-se que a distribuição latitudinal das rochas com padrão periódico, depósitos carbonáticos de folhelhos negros é similar. Em parte porque as seções que apresentam oscilação mais acentuadas do conteúdo carbonático versus o teor de argila e MO possuem feições rítmicas melhor definidas (p.ex., Bacia de Sergipe). Todavia, existem situações onde o registro sedimentar apresenta padrão periódico, independente das variações do teor de carbonato. Este é o caso do poço DSDP-530A, onde a produção e a preservação da MO determinam a existência de ciclicidade. Interpreta-se que a distribuição dos ritmitos, rochas carbonáticas e folhelhos negros é coincidente e associada ao clima, embora a gênese destas rochas não seja exatamente a mesma. Enquanto que os carbonatos e folhelhos negros dependem da temperatura das águas, nível de oxigenação, salinidade e nível trófico, que no

caso do Atlântico Sul foram controladas pelas barreiras oceanográficas, a distribuição dos ritmos é explicada com mais propriedade pelos modelos climáticos que demonstram que certas áreas alternaram períodos úmidos e secos durante o Turoniano.

### 13.3 MODELO GENÉRICO PARA A FORMAÇÃO DE SUCESSÕES RÍTMICAS

Partindo da premissa que durante o Cenomaniano e o Turoniano a Terra encontrava-se sob um episódio de efeito estufa (ausência de calotas polares e gradiente térmico reduzido), a alternância de climas úmidos e secos foi o principal fator indutor da formação de registros cíclicos.

Pelo menos dois modelos podem ser usados para explicar a existência de períodos úmidos e secos que se alternam segundo uma frequência compatível com os ciclos orbitais-climáticos. O primeiro modelo, proposto por Perlmutter & Matthews (1989), fundamenta-se em mudanças na circulação atmosférica em compasso com períodos climáticos mínimos e máximos. O segundo modelo, proposto por Park & Oglesby (1994), pressupõe que determinadas regiões do planeta durante o mesocretáceo alternaram regimes pluviométricos muito distintos, segundo um padrão cíclico compatível com os ciclos de obliquidade e precessão.

Perlmutter & Matthews (1989), utilizando os conceitos da variação climática latitudinal e aplicando o modelo de circulação atmosférica de Hadley, subdividiram cada um dos hemisférios em 8 cinturões climáticos. O modelo de circulação de Hadley utiliza células atmosféricas para explicar a dinâmica da atmosfera e do clima (Hanwell, 1980 *apud* Perlmutter & Matthews, 1989). A Terra é subdividida latitudinalmente em 3 células: polar, ferrel e hadley (Fig. 13.6), as quais definem as variações de temperatura e umidade, determinando os tipos de climas. A célula polar representa os climas polares, a de ferrel os temperados, e a de hadley os climas tropicais. Dentro de cada célula existe uma variação de umidade: a parte central é relativa aos climas subúmidos-secos, as partes externas induzem a formação de climas secos ou áridos dependendo se o movimento atmosférico é ascendente (úmido) ou descendente (árido). Na célula polar, por exemplo, o movimento descendente nas altas latitudes define um clima polar árido, e o ascendente, em latitudes menores, define

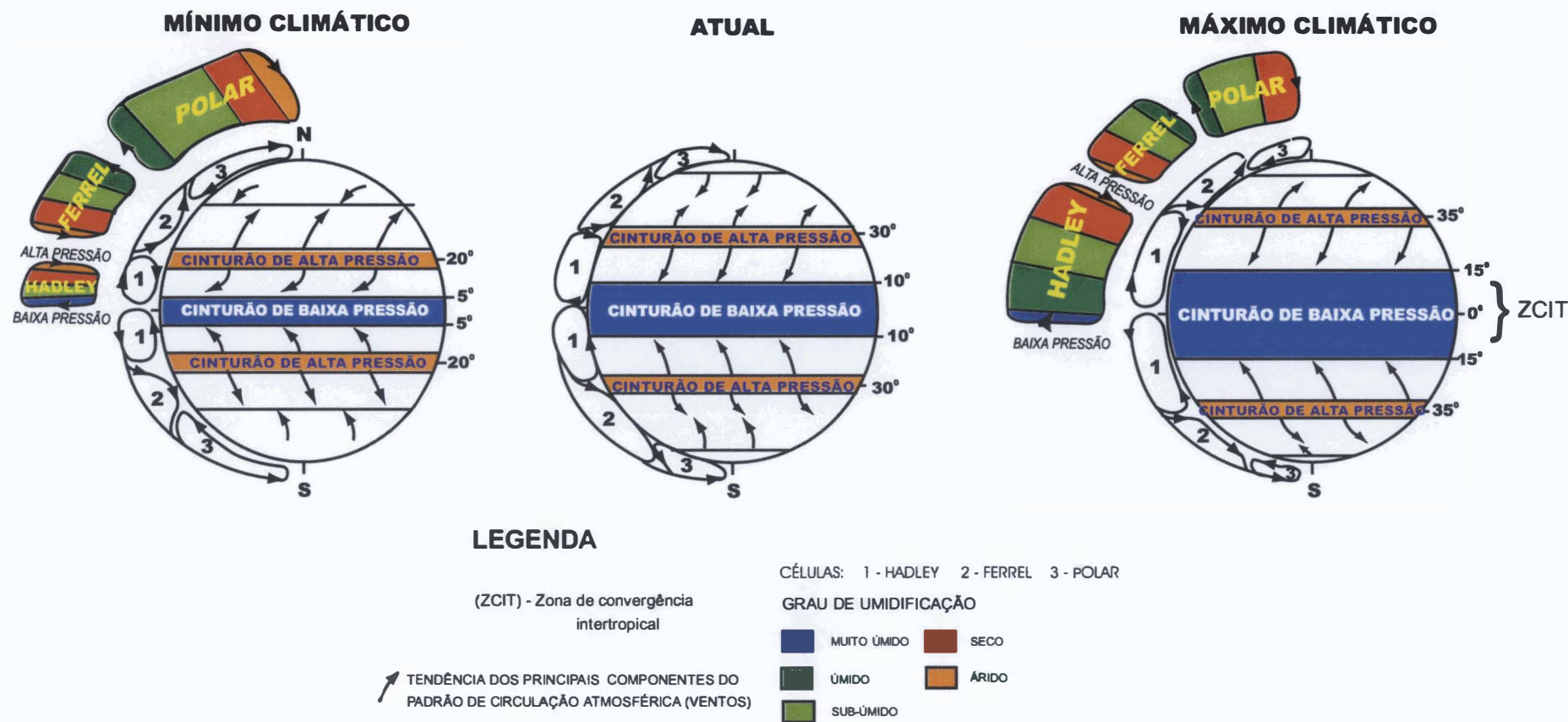


Figura 13.6 - A circulação atmosférica global pode ser simplificada utilizando-se um modelo composto por 3 células: polar, ferrel e hadley. A combinação destas células determina a umidade e a temperatura segundo cinturões latitudinais. No equador, a célula de hadley determina uma temperatura elevada, que associada ao movimento ascendente das correntes de ar gera um clima quente e úmido. Supõe-se que durante períodos glaciais (mínimos climáticos) e interglaciais (máximos climáticos) esta célula, assim como a célula polar, foi expandida ou retraída, ampliando ou reduzindo as áreas quentes e úmidas (Modificado de Perlmutter & Matthews, 1989).

um clima polar úmido. Da mesma forma as outras duas células definem os climas temperado úmido ou árido e tropical úmido ou árido. Os movimentos descendentes ou ascendentes associam-se às diferenças de pressão existentes sobre a superfície da Terra, definidas pela relação entre a incidência e a dissipação da energia solar. Este balanço energético depende da posição da Terra em relação ao sol, das dimensões das áreas continentais, da eficiência de transporte de calor pela atmosfera e hidrosfera, e do tipo de solo e vegetação. Deste modo, na faixa equatorial (cinturão de baixa pressão) o ar ascende, enquanto nas latitudes intermediárias (regiões de pressões elevadas) o ar descende. Além dos movimentos verticais, as diferenças de pressão causam também os movimentos horizontais das massas de ar (Fig. 13.6).

A abrangência latitudinal de cada célula varia sazonalmente, em função da quantidade diferencial de energia solar que incide em cada hemisfério em função das estações do ano (Fig.13.6). Considerando que os ciclos orbitais modulam a duração e a intensidade das estações, podemos supor que as variações na extensão das células também foram moduladas pelos ciclos de Milankovitch (Glennie, 1984 *apud* Perlmutter & Matthews, 1989).

O modelo de circulação de Hadley pressupõe uma distribuição climática ideal, desconsiderando a existência de vários fatores que distorcem o padrão zonal dos climas. As grandes elevações topográficas, a distribuição assimétrica dos continentes, a configuração e orientação geográfica das linhas de costa são alguns dos fatores que causam a ruptura do caráter zonal. Os efeitos destes fatores são particularmente importantes na faixa denominada de Zona de Convergência Intertropical (ZCIT; Fig. 13.6). No sudoeste da África e sul da Ásia, por exemplo, ao invés de um suposto clima tropical úmido estável, idealizado no modelo de Hadley, a circulação monçonal promove estações úmidas e secas, controladas pelo caráter sazonal da direção e intensidade do vento, ora soprando no sentido do continente, ora no sentido do oceano. A causa precípua desta distorção do padrão zonal deve-se à combinação de vastas áreas continentais e grandes elevações topográficas (Perlmutter & Matthews, 1989).

Segundo Perlmutter & Matthews (1989) os oito cinturões climáticos, na qual cada hemisfério pode ser subdividido, definem regiões da superfície da Terra cuja condições climáticas foram similares durante um determinado estágio climático. Estes estágios foram denominados de “mínimos” e “máximos” climáticos, referindo-se originalmente aos períodos glaciais (mínimos) e interglaciais (máximos); entretanto, podem ser também compreendidos como períodos de menor e maior insolação. De acordo com este modelo, vários cinturões poderiam alternar períodos extremamente úmidos com períodos áridos (Fig. 13.7).

O princípio básico desta abordagem é a variação da amplitude latitudinal das células polar e hadley ao longo de um ciclo precessional. A concepção deste modelo foi inspirada no comportamento cíclico-climático dos últimos 21 ka, onde o máximo climático corresponderia ao intervalo entre 8-9 ka (interglacial), e o mínimo entre 20 e 21 ka (glacial). Cabe ressaltar que a distribuição climática por cinturões latitudinais pode ser comprometida por fatores paleogeográficos ou topográficos, principalmente na zona intertropical de convergência. Deste modo, os cinturões de latitude mais baixa podem deixar de ter um padrão climático homogêneo. Atualmente esta distorção é mais acentuada no sul da Ásia e nordeste da África, e afeta os cinturões denominados como 1, 2, 3 e 4 por Perlmutter & Matthews (1989).

Neste modelo a temperatura aumenta a partir das altas latitudes em sentido ao equador tanto nas fases de máximo ou mínimo climático. Apenas a amplitude latitudinal das faixas climáticas polar, temperada e tropical altera-se conforme a fase. A célula de hadley amplia-se na fase interglacial em detrimento da célula polar; nos períodos glaciais ocorre o oposto. A curva que representa a variação da umidade nas fases de mínimo e máximo climático, ao longo de um ciclo precessional, estão defasadas cerca de  $180^\circ$  (Fig. 13.7). Desta forma, com exceção dos cinturões posicionados em latitudes muito baixas ou altas (cinturões 1, e parcialmente 2 e 8), nos demais, a passagem de um mínimo para um máximo climático pode significar períodos secos sucedendo períodos úmidos. Mesmo supondo que no Cretáceo as variações de temperatura dentro das células fossem mais atenuadas, a variação do grau de umidade não deveria ser diferente do atual. Portanto, parece plausível que a aplicação deste modelo possa explicar a origem dos depósitos rítmicos. No Atlântico Sul, a inexistência de registros cíclicos em paleolatitudes elevadas, como o Platô das Malvinas (DSDP-511), e a disseminação deste tipo de rocha em paleolatitudes intermediárias ( $15^\circ$  e  $45^\circ$ ), é compatível com este modelo.

No hemisfério norte, a existência de ritmitos nos mares epicontinentais formados em latitudes baixas e intermediárias pode estar associado a um comportamento climáticos mais complexo, induzido pela peculiaridades paleogeográficas dos mares epicontinentais do neocenomaniano-eoturoniano. Por outro lado, a ausência de depósitos cíclicos no Turoniano do Canadá talvez esteja relacionada à posição paleogeográfica desta área. De forma similar à região Austral do Atlântico Sul, esta região pode ter sido caracterizada por pouca variação no regime pluviométrico. Cabe ressaltar que este estudo não enfocou as seções turonianas do



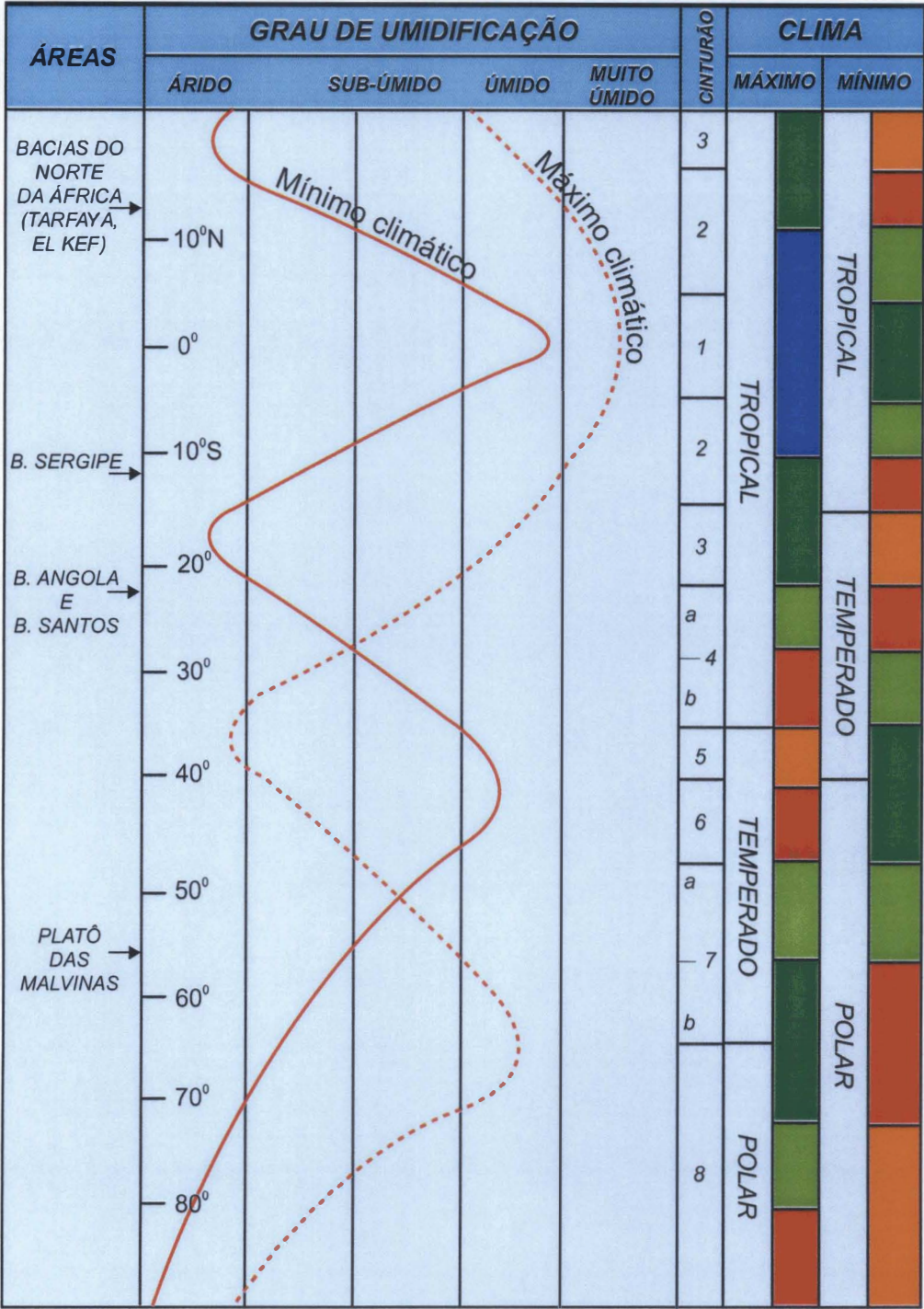


Figura 13.7 - Modelo climático proposto por Perlmutter & Matthews (1989) para explicar as variações do grau de umidade e temperatura ao longo de um ciclo orbital. A variação da amplitude latitudinal das células de hadley e polar na transição de período de máximo e mínimo climático permite que áreas áridas tornem-se úmidas. Na coluna da esquerda, as paleolatitudes das áreas estudadas seguem o mapa peleogeográfico de Smith *et al.* (1994). Com exceção do poço DSDP-511, as demais áreas estão em regiões que podem ter sofrido alterações consideráveis do grau de umidade ao longo de um ciclo precessional (Modificado de Perlmutter & Matthews, 1989).

hemisfério Norte, logo, tais considerações são apenas ilustrativas da possibilidade de estender a aplicação deste modelo para outras áreas do planeta.

A segunda abordagem que poderia ser feita sobre a origem dos ciclos climáticos úmidos e secos, constitui-se na aplicação do modelo numérico climático elaborado por Park & Oglesby (1994). Apesar das diversas limitações deste método, observa-se que o posicionamento das áreas estudadas nos mapas paleopluviométricos do Cretáceo Superior (70 Ma), para os períodos de máximos e mínimos climáticos, também explicam a alternância de períodos secos e úmidos (Fig. 13.8).

Apesar dos resultados favoráveis obtidos pela aplicação deste modelo deve-se considerar que várias simplificações foram feitas, além do fato de que os mapas gerados referem-se a um intervalo estratigráfico distinto. Os mapas foram modelados assumindo parâmetros climáticos similares aos atuais, porém excluindo a existência de calotas polares. A cobertura de solo, vegetação e a capacidade de transferência de calor pela atmosfera e a evaporação dos oceanos são idealizados. Este modelo pressupõe que todas as áreas emersas eram recobertas por gramíneas e desconsidera a capacidade da circulação oceânica de transferir calor, assim como as distorções climáticas relacionadas à zona de convergência intertropical. Quanto aos parâmetros orbitais, duas situações são contempladas: máximo e mínimo climático. Estas são definidas pelos índices  $\nu$  e  $\delta$  relativos à precessão e à obliquidade, sendo que  $\nu$  dependente também da excentricidade. Quando a conjunção destes índices propicia uma máxima insolação, a fase climática é definida como máxima; quando ocorre o oposto, temos o mínimo climático. Na prática, a modulação climática ocorre principalmente segundo os ciclos precessional e obliquidade, sendo a intensidade controlada pelo ciclo de excentricidade (ver capítulo 5).

A análise dos paleomapas pluviométricos sugere que as áreas com quantidade de chuva reduzida expandem-se em direção ao Oceano Atlântico durante a fase de mínimo climático. Esta expansão é mais acentuada na margem leste da América do Sul que na margem oeste da África. Durante o máximo climático, as áreas de grande densidade de chuva, concentradas no centro do oceano na fase anterior, se ampliam tanto no sentido leste-oeste como norte-sul. Como pode ser observado na figura 13.8, a posição da Bacia de Sergipe é coerente com uma acentuada variação pluviométrica, enquanto que as áreas mais ao sul, como as bacias de Santos e Angola, sofrem variações menos acentuadas. O Platô das Malvinas (DSDP-511), localizado em latitude mais alta, sofre pouca variação de umidade no decorrer

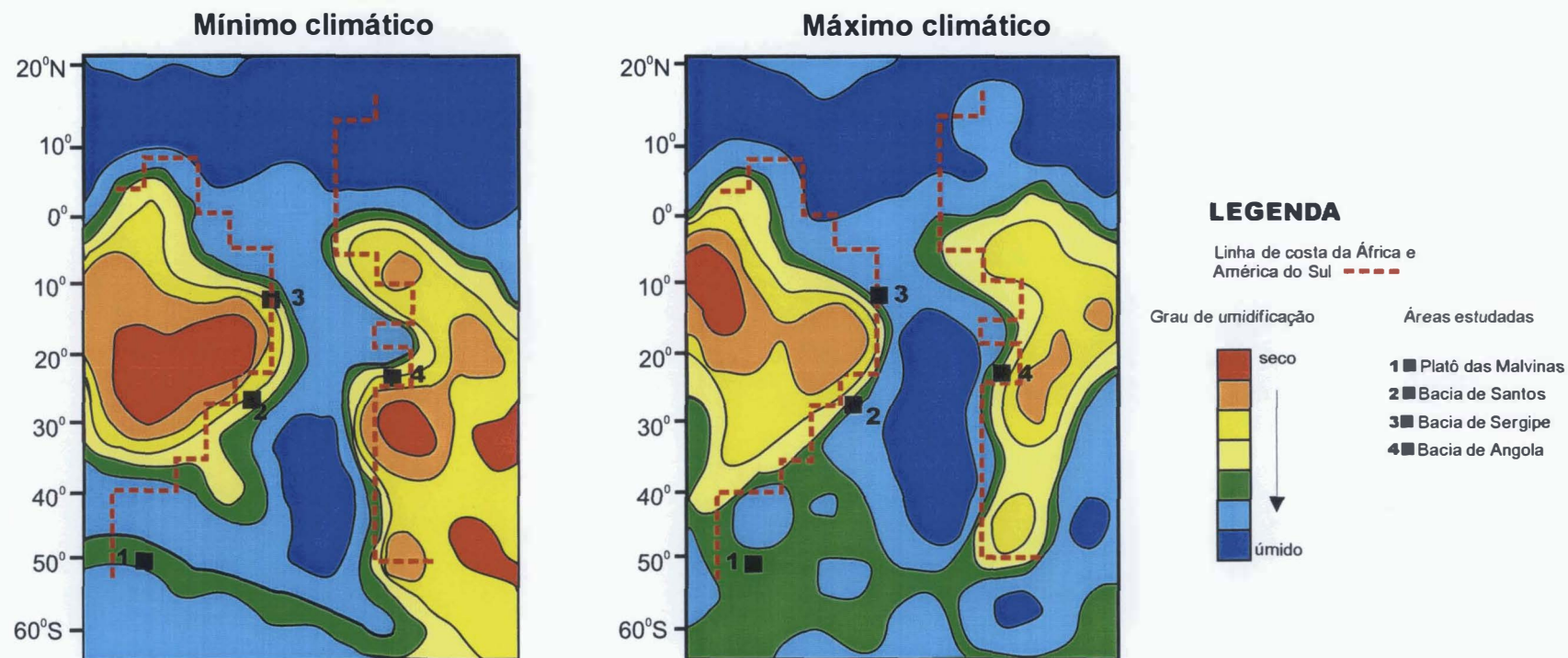


Figura 13.8 - Estes mapas representam os resultados de uma simulação numérica da variação das áreas secas e úmidas nos extremos climáticos de um ciclo de precessional. A distribuição paleogeográfica dos continentes retrata o Coniaciano-Santoniano. Nota-se que nas altas latitudes e na região equatorial existe pouca variação no índice pluviométrico. Na costa oeste da África e no leste da América do Sul, durante o máximo climático o clima tende a tornar-se mais úmido (Modificado de Park & Oglesby, 1994).



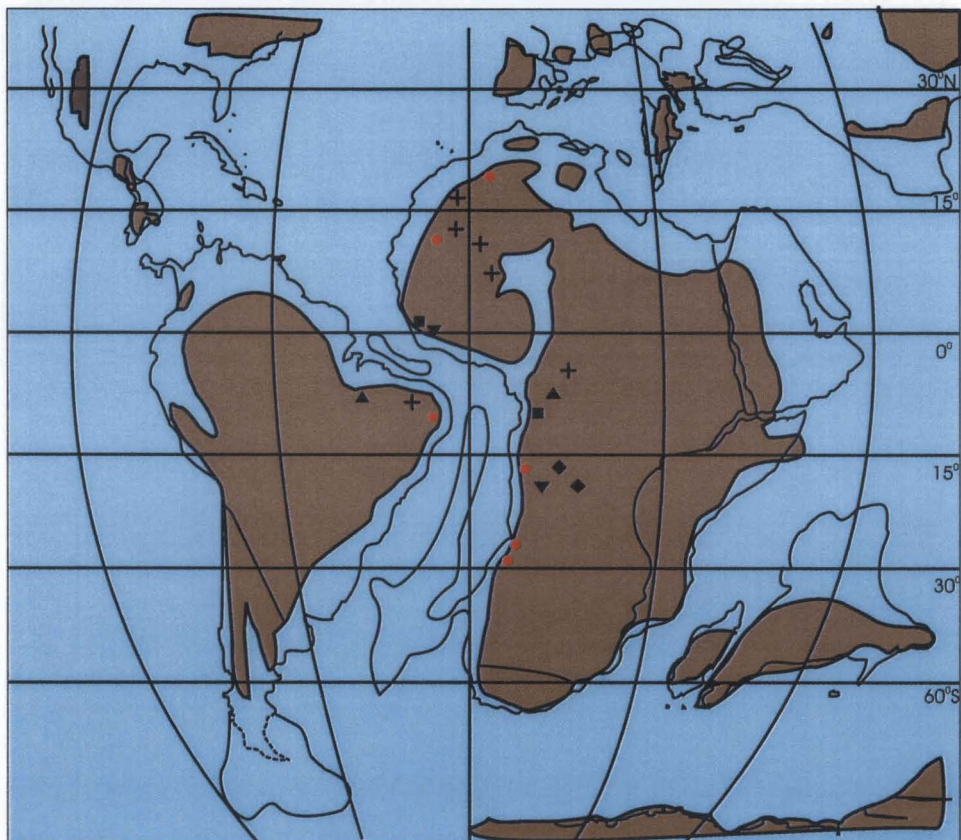
um ciclo completo. Pode-se observar ainda, que próximo ao equador e em altas latitudes a umidade é relativamente alta, independente da fase climática.

A grande similaridade das conclusões alcançadas a partir da aplicação dos modelos de Park & Oglesby (1994) e Perlmutter & Matthews (1989) sugere que o principal controle da ciclicidade nos depósitos estudados é pluviométrico. Como discutido no item anterior, o padrão de ciclicidade mais destacado na Bacia de Sergipe pode ser em parte produto do contexto deposicional, mas certamente resulta também de fatores climáticos diretamente associados à localização paleogeográfica desta bacia. Da mesma forma, os ciclos da Bacia de Santos, que são menos evidentes, podem ser resultado de variações menos acentuadas no regime pluviométrico.

O estudo paleoclimático elaborado por Parrish (1993) para o neocretáceo no Atlântico Sul corrobora as conclusões obtidas a partir da aplicação dos modelos anteriormente citados. Para a autora, depósitos sedimentares característicos de determinados climas, como carvões, evaporitos, arenitos de origem eólica, lateritas, bauxitas e argilitos vermelhos, são excelentes indicariam de temperatura e umidade. Os argilitos vermelhos, particularmente, indicam clima quente com intensa sazonalidade de períodos úmidos e secos. No mapa paleoclimático elaborado por esta autora observa-se que estes depósitos estão distribuídos principalmente na costa oeste da África e leste da América do Sul entre 30° S - 30° N (Fig. 13.9).

Conclui-se, que independente do contexto deposicional, a origem dos ciclos reconhecidos nas bacias de Santos, Sergipe e Angola são produto direto da variação de influxo continental modulado pela alternância de períodos úmidos e secos. A entrada de nutrientes e sedimentos siliciclásticos finos induz ciclos de produtividade e diluição. O aumento da produtividade primária, pode desestabilizar a relação entre a produção e o consumo de oxigênio, deflagrando ciclos de oxi-redução. Os ciclos de dissolução nos poços estudados são associados ao acúmulo de MO, logo relacionam-se diretamente com os ciclos de oxi-redução e produtividade. Mesmo os turbiditos síltico-argilosos, depositados segundo um padrão cíclico, podem ter sido induzidos pelo aumento de umidade modulado por ciclos de precessão ou de frequência superior.

Apesar da origem comum atribuída aos ritmitos do Cenomaniano Superior e Turoniano, a resposta à alternância de períodos úmidos e secos é diferenciada em função do contexto deposicional. Na Bacia de Sergipe, o aumento da umidade causou a redução da

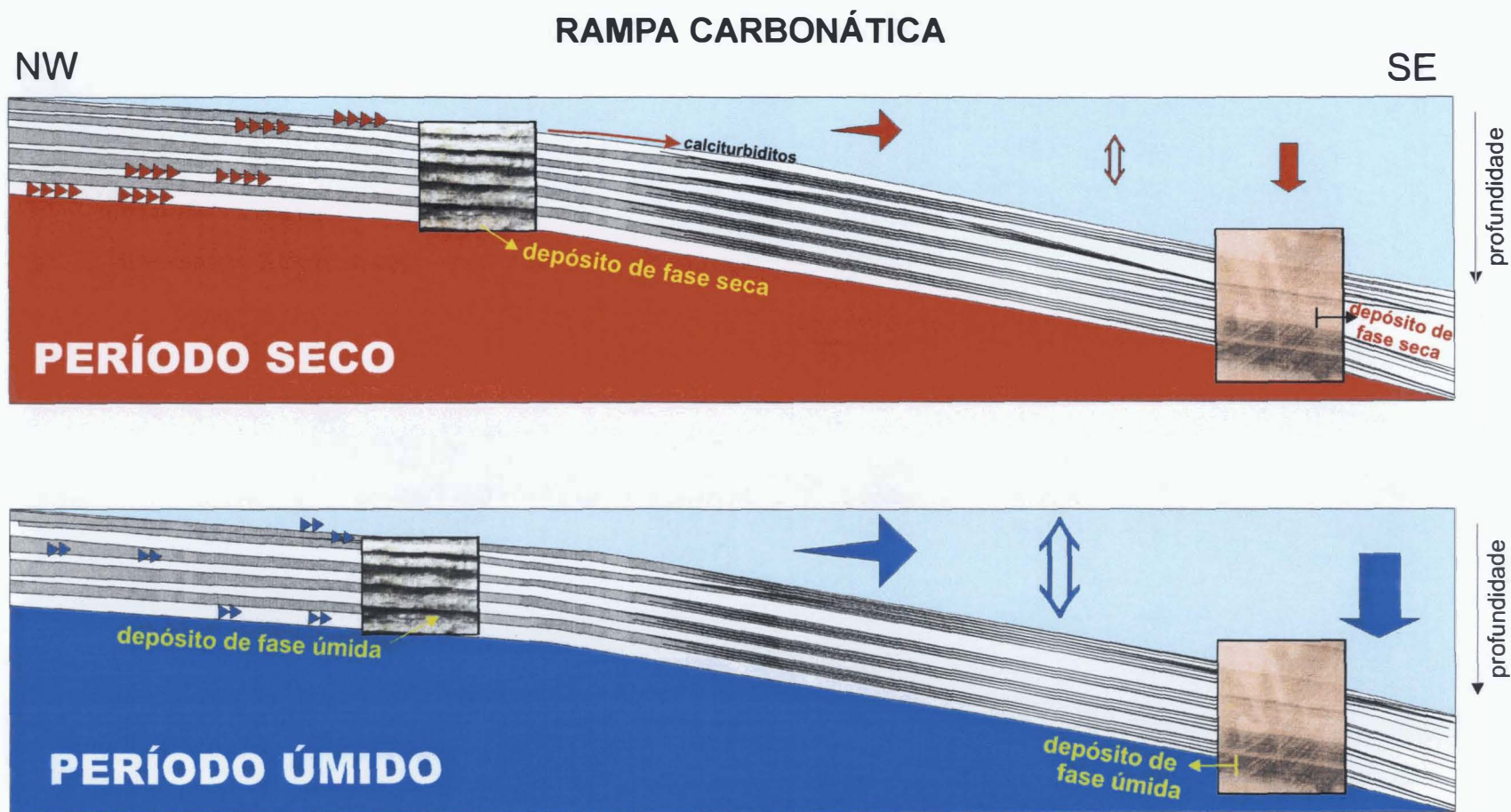


- + EVAPORITO
- ARGILITO VERMELHO
- ▲ BAUXITA
- CARVÃO
- ◆ CAULINITA
- ▼ LATERITA

Figura 13.9 - Mapa mostrando a distribuição dos depósitos continentais indicadores de clima. Os argilitos vermelhos indicam alternância de períodos úmidos e secos. Várias regiões da costa da África e da América do Sul, segundo este mapa, apresentam este tipo de depósito (Modificado de Parrish, 1993).

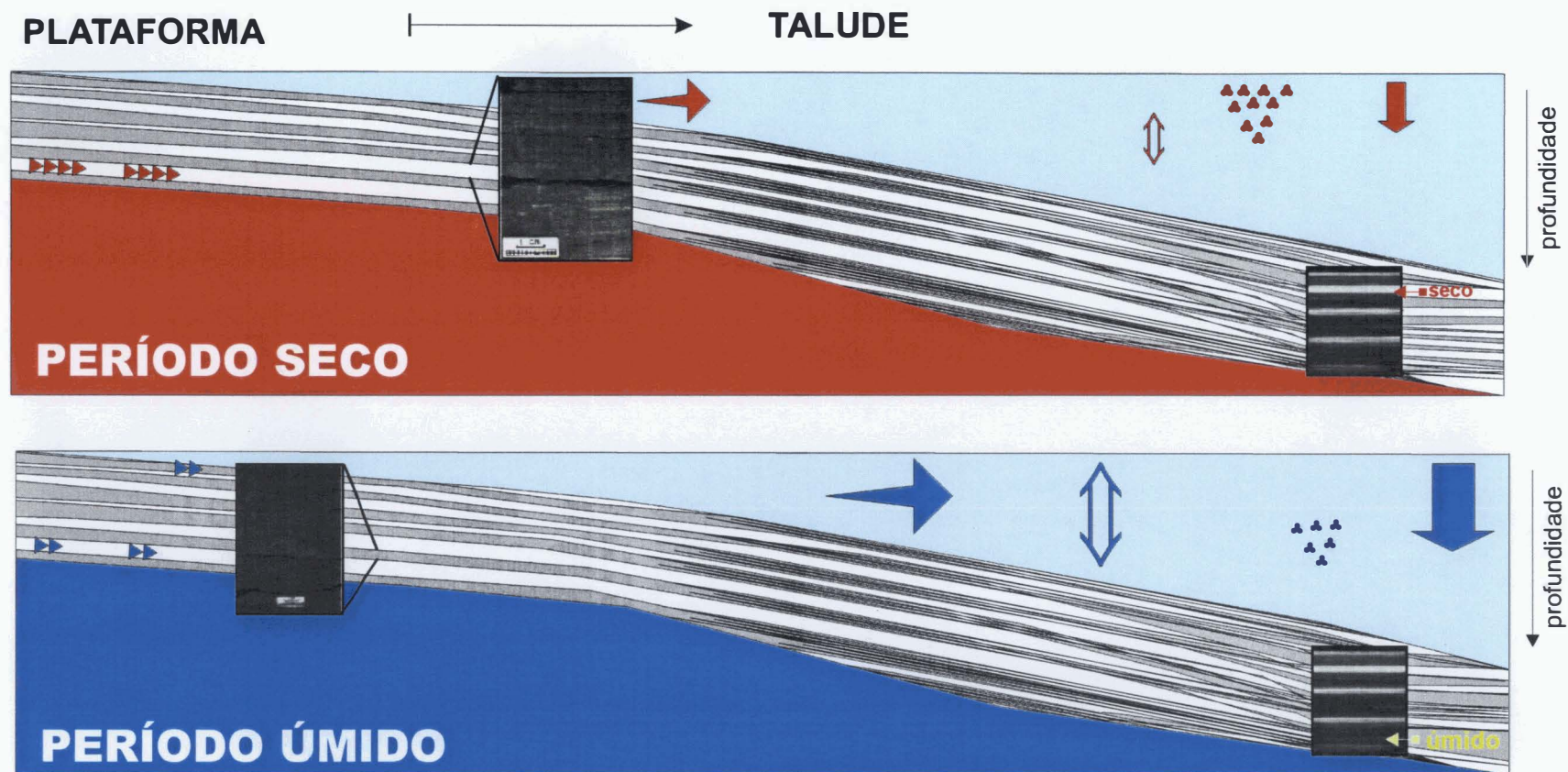


produção de carbonato na área da plataforma, incrementando a produtividade primária e propiciando a deposição de rochas mais argilosas e ricas em MO (Fig. 13.10). Na Bacia de Santos, a fase úmida é representada por folhelhos negros maciços, enquanto que na fase seca depositaram-se fácies laminadas com alternância de lâminas argilosas e ricas em foraminíferos. Nesta bacias a maior produtividade primária ocorre nas fases úmidas. Devido ao aumento do influxo continental ocorre uma substituição gradativa de alguns organismos planctônicos por outros mais resistentes às condições estressantes, como redução de luminosidade e salinidade e o aumento da turbidez e nutriente. Este processo também reflete-se nas áreas oceânicas mais profundas. O resultado, em relação aos depósitos de plataforma, são camadas depletadas em carbonato mas acentuadamente ricas em MO (DSDP-356) e/ou argila (DSDP-364), alternadas com camadas com elevado teor de carbonato (Fig. 13.11 ). No caso específico do poço DSDP-530A as camadas carbonáticas são muito reduzida em número, e o caráter rítmico é impresso, principalmente, pelos ciclos de oxi-redução induzidos por variações na produtividade. Neste poço, apesar das oscilações na umidade, não houveram condições adequadas para o desenvolvimento e preservação de carbonatos biogênicos.



| PARÂMETRO                                                 | CLIMA          |               |
|-----------------------------------------------------------|----------------|---------------|
|                                                           | seco           | úmido         |
| Influxo continental de nutrientes e argila                | baixo<br>→     | elevado<br>→  |
| produtividade primária                                    | baixo<br>↓     | elevado<br>↓  |
| produção e exportação de carbonato a partir da parte rasa | elevado<br>→→→ | baixo<br>→    |
| zona de mínimo de oxigênio                                | retração<br>↕  | expansão<br>↕ |

Figura 13.10 - Modelo esquemático demonstrando o mecanismo de deposição de ritinitos de origem climática- orbital em sistemas carbonáticos (p. ex., Bacia de Sergipe). A entrada de nutrientes e argila nos períodos úmidos aumenta a produtividade primária, desestabiliza a produção de carbonato e, eventualmente, promove eventos disóxicos. O resultado são margas ou lâminas enriquecidas em MO. Nos períodos secos a produção e exportação de carbonato propicia a deposição de camadas carbonáticas depletadas em argila e MO.



| PARÂMETRO                                                 | CLIMA          |               |
|-----------------------------------------------------------|----------------|---------------|
|                                                           | seco           | úmido         |
| Influxo continental de nutrientes e argila                | baixo<br>→     | elevado<br>→  |
| produtividade primária                                    | baixo<br>↓     | elevado<br>↓  |
| produção e exportação de carbonato a partir da plataforma | elevado<br>→   | baixo<br>→    |
| zona de mínimo de oxigênio                                | retração<br>↕  | expansão<br>↕ |
| produção de carbonato pelágico biogênico                  | elevado<br>▲▲▲ | baixo<br>▲▲▲  |

Figura 13.11 - Modelo esquemático demonstrando o mecanismo de deposição de ritimitos de origem climática-orbital em sistemas siliciclásticos (p. ex., Bacia de Santos / Bacia Angola). A entrada de nutrientes e argila nos períodos úmidos aumenta a produtividade primária, desestabiliza a produção de carbonato pelágico biogênico e pode promover eventos disóxicos. O resultado são lamitos ricos em MO. Nos períodos secos a produção e exportação de carbonato pelágico biogênico propicia a deposição de camadas ricas em carbonato e depletadas em argila e MO.



## 14. CONCLUSÕES

### METODOLOGIA

- A análise espectral dos perfis geofísicos de poços e das curvas que representam as variações de cores dos testemunhos (índice colorimétrico) / são ferramentas cicloestratigráficas extremamente úteis desde que as seguintes premissas sejam seguidas:
  - a) os resultados das análises dos perfis geofísicos e das curvas de cores devem ser monitorados por análises geoquímicas, paleoecológicas e faciológicas, demonstrando que os ciclos reconhecidos matematicamente possuem expressão física na rocha;
  - b) a taxa de acumulação estimada a partir da análise espectral deve ser aferida pelos dados bioestratigráficos. Mesmo utilizando o artifício de atribuir uma duração temporal para as biozonas, o método biocronoestratigráfico é ainda mais confiável que a avaliação da duração dos ciclos obtida unicamente pelo método de comparação de matrizes.
- O intervalo Cenomaniano Superior-Turoniano pode ser subdividido com grande acurácia utilizando-se as primeiras e as últimas ocorrências de espécies de nanofósseis calcários. Porém, em seções com COT elevado, a degradação da matéria orgânica induz à dissolução da fração fina do carbonato, modificando as assembléias de nanofósseis e dificultando as análises (p.ex., poço DSDP-530A).
- Apesar da independência dos fatores que determinam os valores dos isótopos de carbono e oxigênio nos carbonatos em rocha total, a covariação positiva ou negativa dos dados assinala que houve alteração diagenética do sinal primário. A dissolução da fração fina do carbonato e a recimentação deste, são os processos mais efetivos para esse fenômeno. No caso da covariação positiva, o  $\delta^{18}\text{O}$  retrata a temperatura de recristalização, tornando-se mais negativo devido à elevação da temperatura associada ao soterramento; o  $\delta^{13}\text{C}$ , influenciado pelo  $\text{CO}_2$  mais negativo proveniente da degradação da MO, também, desloca-se para valores mais negativos (p.ex., poço DSDP-530A). A correlação negativa relaciona-se aos processos de degradação da MO que ocorrem próximos à superfície do fundo do mar. A recristalização do carbonato junto à interface água-sedimento desloca o  $\delta^{18}\text{O}$  para valores mais positivos devido às temperaturas mais frias. O  $\delta^{13}\text{C}$ , da mesma forma que na correlação positiva, é deslocado para valores mais negativos (p.ex., SE-1).

- A aplicação de modelos cicloestratigráficos fundamentados em cinturões climáticos, usualmente utilizados em seções continentais, pode ser muito útil na predição de registros rítmicos em seções marinhas. Tais modelos podem ser corroborados por modelos numéricos climáticos.

## CICLOESTRATIGRAFIA E BIOESTRATIGRAFIA

- Mesmo considerando a imprecisão dos dados bioestratigráficos das perfurações mais antigas do DSDP, intervalos sem amostragem, e o número relativamente reduzido de poços cuja distribuição geográfica é irregular, fica claro que o registro do Cenomaniano Superior e Turoniano é pouco espesso ou inexistente em grande parte do Oceano Atlântico Sul.
- A análise cicloestratigráfica, aliada aos resultados bioestratigráficos, permitiu avaliar com maior precisão a duração do intervalo Cenomaniano Superior-Turoniano e determinar os principais hiatos existentes:
  - ⇒ O Turoniano inferior-superior do poço DSDP-356 está condensado (biozonas UC-7 e UC-8); a seção turoniana inferior representa cerca de 0,7 Ma (9,45 m; taxa de acumulação 1,45 cm/ka), estando erodida na base.
  - ⇒ No poço DSDP-364 encontra-se registrado predominantemente o Turoniano médio-superior. Somente cerca de 0,1 Ma do Turoniano inferior foi preservado, o restante foi erodido. A parte basal do Coniaciano e a seção turoniana média-superior (biozonas UC-9 e UC-8) representam cerca de 2,0 Ma (30 m; taxa de acumulação de 1,35 cm/ka); porém esta estimativa pode ser imprecisa devido à condensação parcial da Biozona UC-8
  - ⇒ O poço DSDP-530A apresenta a seção cenomaniana-turoniana relativamente completa, existindo talvez um hiato na base do Cenomaniano. Observam-se dois intervalos condensados: o mais novo é evidenciado pela pouca espessura da Biozona UC-8 (mesoturoniano); o mais antigo foi reconhecido pela redução da taxa de acumulação durante a deposição dos principais depósitos ricos em MO (testemunhos #97 e #98), que representam cerca de 1,4 Ma. A análise cicloestratigráfica restringiu-se ao intervalo



Cenomaniano Superior-Turoniano inferior (biozonas UC-6 e UC-5). Este intervalo com cerca de 34,5 m foi depositado em 2,7 Ma (taxas de acumulação variáveis entre 1,8 e 1 cm/ka).

⇒ No poço SA-1 o registro de depósitos do Turoniano inferior é questionável (Biozona UC-7). Possivelmente, somente o Turoniano médio-superior (biozonas UC-9 e UC-8) tenha sido preservado da erosão. O Turoniano e a base do Coniaciano representam cerca de 2 Ma (234 m; taxa de acumulação de 11,5 cm/ka).

⇒ O intervalo Cenomaniano Superior-Turoniano do poço SE-1 é o mais representativo das seções estudadas na Bacia de Sergipe. A seção está completa e representa cerca de 5,3 Ma (645 m; taxa de acumulação de 12 cm/ka).

- Nos poços do DSDP (356, 364, 511 e 530A) e nos poços das bacias de Sergipe e Santos (SE-1, SE-2 e SA-2) quatro eventos erosivos e dois eventos transgressivos foram reconhecidos. O evento erosivo mais antigo é de idade neocenomaniana-eoturoniana (biozonas UC-5/UC6), seguem-se dois eventos de idade turoniana (biozonas UC-6b e UC-7), e o mais novo, de idade pós-turoniana. O evento transgressivo mais importante é de idade mesoturoniana (Biozona UC-8). O evento mais antigo (neocenomaniano-eoturoniano; subzonas UC-5c/UC-6a) foi reconhecido nos poços SE-1 e DSDP-530A.
- Os eventos erosivos e as elevações relativas do nível do mar são regionais e resultam de modificações no padrão de circulação oceânica. Esta por sua vez depende das variações na taxa de expansão do fundo oceânico, e das mudanças paleogeográficas, principalmente do alargamento da passagem intercontinental entre o norte da África e à porção equatorial da América do Sul.

## ORIGEM DOS CICLOS

- Os ciclos identificados nos poços DSDS-356 (testemunho #41) e DSDP-364 (testemunhos #22 e 23) registram a variação do conteúdo de carbonato, argila e MO, expressa pela sucessão de depósitos carbonáticos de cores claras e estratos de cores escuras formados por argila e quantidade variável de matéria orgânica amorfa de origem marinha.

- ⇒ No poço DSDP-356 o carbonato é constituído por nanofósseis (associação monoespecífica constituída pela espécie *W. barnesae*), ou pelo produto da dissolução destes, com percentagem relativamente alta de dolomita. Os depósitos mais argilosos são produtos da dissolução dos componentes carbonáticos. A julgar pelos valores do COT, a intensidade do processo de dolomitização e a presença de abundantes nódulos de pirita, a diagênese da MO deve ter alternado períodos de oxidação e sulfato-redução, sendo a dissolução do carbonato associada a estes processos. A MO acumulada nos depósitos sapropélicos do DSDP-356 foi depositada durante períodos de clima úmido, onde o incremento do influxo de nutrientes ocasionou um aumento na produtividade primária induzindo um maior consumo de oxigênio e deflagrando períodos anóxicos-disóxicos. Em contrapartida, durante as épocas de menor umidade depositaram-se os carbonatos de cor clara. Estes períodos correspondem a breves intervalos cujas condições de oxigenação permitiram uma produção e preservação mais efetiva do carbonato pelágico.
- ⇒ Os ciclos observados no poço DSDP-364 resultaram da oscilação da produtividade primária, induzida pela variação do influxo continental e de nutrientes. Em épocas secas depositaram-se os carbonatos formados por assembléias de nanofósseis com alta diversidade e excelente preservação. Nos períodos úmidos a elevada argilosidade causou uma redução drástica na diversidade e na quantidade de nanofósseis, devido às mudanças dos parâmetros ambientais (turbidez, salinidade, temperatura e nível trófico). O aumento da produção de MO induziu a diminuição do oxigênio. Adicionalmente, a entrada de argila no sistema causou a diluição da fração carbonática. Em determinados momentos, a elevada produção de MO levou as condições de fundo a uma situação de anoxia.
- Os ritmitos do poço DSDP-530A são formados por folhelhos negros e argilitos. No que diz respeito aos processos deposicionais, sabe-se que os folhelhos negros são relacionados em parte a correntes de turbidez. Porém, a partir do contexto sedimentológico e dos dados da geoquímica orgânica, conclui-se que os folhelhos negros são predominantemente formados "*in situ*", sendo relacionados a períodos de maior produtividade primária. A alternância de períodos úmidos e secos pode ter causado variações na quantidade de nutrientes disponível na massa d'água, controlando a produtividade primária na plataforma e no talude e modulando o aporte de sedimentos argilosos. Considerando-se que a análise de ciclicidade aponta para um padrão predominantemente periódico, é coerente supor a existência de um mecanismo climático-orbital para a formação destes depósitos. A

existência de depósitos turbidíticos ricos em MO é inquestionável; entretanto, estes estão em menor número e foram depositados segundo uma frequência variável entre 10 e 20 ka.

- No poço SA-1 (Bacia de Santos) a alternância de fácies laminadas (lâminas de carbonato biogênico intercaladas com folhelho ricos em MO) e maciças (folhelhos com teores variáveis de carbonato e MO) caracteriza a sucessão rítmica. As lâminas carbonáticas são formadas principalmente por foraminíferos e fragmentos de invertebrados transportados da plataforma média-externa para a região do talude. Durante a fase seca a produção destes organismos na área fonte foi mais elevada. Durante os períodos mais úmidos, devido ao maior aporte de argila ocorre uma diluição dos organismos carbonáticos planctônicos. O aumento da turbidez das águas e a maior disponibilidade de nutrientes pode ter sido desfavorável à produção de carbonato biogênico. As lâminas ricas em MO intercaladas a lâminas carbonáticas representam fases úmidas de curta duração e altíssima frequência durante períodos predominantemente secos.
- Dois tipos de ciclos foram reconhecido nos poços da Bacia de Sergipe: ciclos tectônicos e climáticos. Os primeiros foram reconhecidos nos perfis geofísicos, sendo caracterizados pela feições retrogradacionais-progradacionais. Os ciclos climáticos foram identificados nos perfis geofísicos, testemunhos e nos afloramentos. Duas fácies rítmicas foram descritas nesta bacia: sucessão de pares de marga/carbonato e carbonatos com finas lâminas escuras compostas principalmente de MO amorfa de origem marinha. A origem destes depósitos foi relacionada a oscilações sazonais climáticas. Nos períodos de clima seco seriam formadas as camadas mais ricas em  $\text{CaCO}_3$ , predominantemente de origem biogênica proveniente da plataforma (calciturbiditos); nas fases úmidas o aumento de nutrientes e argila provenientes da área continental teriam inibido a produção dos carbonatos propiciando um aumento da atividade fitoplantônica.
- Assumindo a inexistência de calotas polares e gradiente térmico atenuado durante o meso-neocretáceo, as mudanças pluviométricas foram as principais variações climáticas nas áreas de latitudes intermediárias. Acredita-se que a origem primária dos ciclos de diluição, dissolução, oxi-redução e produtividade de carbonato e carbono orgânico, registrados em rochas do Cenomaniano Superior e Turoniano, devam-se principalmente a oscilações periódicas de épocas úmidas e secas. Este padrão climático resulta da expansão e redução

latitudinal das células polar e hadley.

## PALEOECOLOGIA E PALEOGEOGRAFIA (ISÓTOPOS DE CARBONO E OXIGÊNIO)

- A distribuição dos depósitos rítmicos limita-se à paleolatidade de 20° S no Oceano Atlântico, sendo coincidente com a barreira oceanográfica formada pelas elevações de Walvis e Rio Grande. Os depósitos do poço DSDP-511 são os únicos a não apresentarem padrão rítmico.
- A abundância, diversidade e preservação das associações de nanofósseis associadas às variações dos dados geoquímicos (COT,  $\text{CaCO}_3$ , isótopos de C e O em carbonatos) respondem nitidamente aos ciclos de produtividade e dissolução. Associações bem preservadas e com elevada diversidade e abundância representam condições oligotróficas e ausência de dissolução. Já as assembléias oligotáficas de nanofósseis constituídas pelos gêneros *Eprolithus*, *Watznaueria*, *Marthasterites* e *Lithastrinus* podem tanto ser associadas a ciclos de dissolução como a eventos de produtividade. No primeiro caso, o  $\delta^{13}\text{C}$  dos carbonatos registram valores primários mais positivos, demonstrando que o carbonato biogênico é depletado em  $^{12}\text{C}$  devido ao aumento da atividade fotossintética (DSDP-364). No segundo, a dissolução induzida pela decomposição da matéria orgânica, em estratos adjacentes aos pacotes com COT elevado, acentua a dissolução dos nanofósseis, concentra as espécies mais resistentes à dissolução (DSDP-356) e precipita cimento isotopicamente mais leve (DSDP-530A).
- Interpreta-se com base nos dados de  $\delta^{18}\text{O}$  do poço DSDP-511 (Platô das Malvinas) que a região Austral do Atlântico Sul foi influenciadas por águas mais tépidas a partir do mesoturoniano, provavelmente devido à diminuição da eficiência das elevações Rio Grande e Walvis como barreiras oceanográficas. Em contrapartida, na região setentrional do oceano (bacias de Angola e Sergipe; poços DSDP-364 e SE-1), observa-se uma tendência de resfriamento, também resultante de uma circulação mais intensa.

## 15. BIBLIOGRAFIA

- AL-RIFAIY, I.; VAROL, O. & LEMONE, D. 1990. Middle to late Albian biostratigraphy of the Cuchillo Formation from Sierra De Sapello, México. **Newsletters on Stratigraphy**, v. 21, p. 187-200.
- ANTUNES, R.L. 1998. **Nanofósseis calcários e sua bioestratigrafia no Cretáceo da margem continental brasileira: bacias do Ceará e Potiguar**. Rio de Janeiro. 2 v. 269 p. Tese de Doutorado em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- ARAI, M. 1987. **Caracterização Geoquímica Orgânica do Registro de Anoxia do Cretáceo Médio da Bacia de Santos, Plataforma Continental do Sudeste Brasileiro**. Niterói. 172 p. Dissertação de Mestrado em Geoquímica, Instituto de Química, Universidade Federal Fluminense.
- ARAI, M. 1988. Geochemical reconnaissance of the Mid-Cretaceous anoxic event in the Santos Basin, Brazil. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo: SBG, v. 18, n. 3, p. 273-282.
- ARARIPE, P.T. & FEIJÓ, F.J. 1994. Bacia Potiguar. In: FEIJÓ, F.J. (ed.). **Estratigrafia das bacias sedimentares do Brasil**. **Boletim de Geociências da PETROBRAS**, Rio de Janeiro, v. 8, n. 1, p. 127-141.
- ARAÚJO, C.V. 2000. **Petrografia orgânica de amostra do poço 1-CN-1-SE, da Bacia de Sergipe-Alagoas**. CENPES/DIVEX/CEGEQ 120/2000, RJ, 2p. (Comunicação técnica).
- ARTHUR, M.A. & SAGEMAN, B.B. 1994. Marine Black Shales: Depositional Mechanisms and Environments of Ancient Deposits. **Annu. Rev. Earth Planet. Science**, v. 22, p. 499-551.
- ARTHUR, M.A.; DEAN, W.E. & CLAYPOOL, G.E. 1985. Anomalous  $^{13}\text{C}$  enrichment in modern marine organic carbon. **Nature**, v. 315, n. 16, p. 216-218.
- ARTHUR, M.A.; SCHALANGER, S.O. & JENKYNS, H.C. 1987. The Cenomanian-Turonian Oceanic Anoxic Event, II. Paleooceanographic controls on organic-matter production and preservation. In: BROOKS, J. & FLEET, A.J. (eds.). **Marine Petroleum Source Rocks**. Londres: Geological Society. p. 401-420. (Special Publication, n. 26).
- ARTHUR, M.A.; BOTTJER, D.J.; DEAN, W.E.; FISCHER, A.G.; HATTIN, D.E.; KAUFFMAN, E.G.; PRATT, L.M. & SCHOLLE, P.A. 1986. Rhythmic bedding in Upper Cretaceous pelagic carbonate sequences: Varying sedimentary response to climatic forcing. **Geology**, v. 14, p. 123-156.



- AUBRY, M. P. 1989. **Handbook of Cenozoic calcareous nannoplankton**. American Museum of Natural History, Micropaleontology handbook series. Book 3: Ortholithae (pentaliths and others) Heliolithae (fasciculiths, sphenoliths and others). New York: Micropaleontology Press, 279p.
- AZAMBUJA FILHO, N.C.de. 1990. **The oligo-miocene turbidites and associated facies of the Campos Basin, Offshore Brazil**. London. 456 p. Phd. Thesis, Imperial College of London.
- AZEVEDO, R.L.M.; GOMIDE, J.; VIVIERS, M.C. & HASHIMOTO, A.T. 1987. Bioestratigrafia do Cretáceo marinho da bacia de Campos, Brasil. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 17, n. 2, p. 147-153.
- AZEVEDO, R.L.M.; AZAMBUJA FILHO, N.C.de; SPADINI, A.R. & MARÇAL, R.A. 1996. Ciclicidade orbital marcando o registro sedimentar: um exemplo do Cretáceo "Médio" da Bacia de Campos, Brasil. In: SIMPÓSIO SOBRE O CRETÁCEO DO BRASIL, 4., Rio Claro, UNESP, 1996. **Boletim de Resumos Expandidos**, p. 33-38.
- BACCAR, M.A. 1970. Evidências geofísicas do pacote sedimentar no Plateau de São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 24., Brasília, 1970. **Anais ...**, Brasília: SBG, p. 201-210.
- BALSAM, W.L.; DEATON, B.C. & DAMUTH, J.E. 1999. Evaluating optical lightness as a proxy for carbonate content in marine sediment cores. **Marine Geology**, v. 161, p. 141-153.
- BALTUCK, M. 1983. Geochemistry, carbon and oxygen stable isotope composition, and diagenetic textural features of lower cretaceous pelagic cyclic sediments from the western north atlantic, deep sea drilling project hole 603B. In: van HINTE, J.E.; WISE Jr., S.W.; *et al.* (eds.). **Initial Reports of Deep Sea Drilling Project**, v. 93, Part 2, p. 989-995.
- BANDEIRA Jr., A.N. 1978. Sedimentologia e Microfacies Calcárias das Formações Riachuelo e Contiguiba da Bacia Sergipe/Alagoas. **Boletim Técnico da PETROBRAS**, Rio de Janeiro, v. 21, n. 1, p. 17-69.
- BARKER, P.F. 1983. Tectonic Evolution and Subsidence History of the Rio Grande Rise. In: BARKER, P.F.; JOHNSON, D.A.; CARLSON, R.L.; CEPEK, W.T.; COULBOURN, W.T.; GAMBOA, L.A.; HAMILTON, N.; MELO, U.de; PUJOL, C.; SHOR, A.N.; SUZYUMOV, A.E.; TJALSMA, R.C. & WALTON, W.H. (eds.) **Initial Reports of Deep Sea Drilling Project**, v. 72. Washington: U.S. Gov. Printing Office. p. 953-976.
- BARRON, E.J. 1983. A Warm, Equable Cretaceous: the Nature of the Problem. **Earth-Science Reviews**, v. 19, p. 305-338.
- BARRON, E.J. 1986. Physical paleoceanography: a status report. **Americal Geophysical Union Geodynamics Series**, v. 15, p. 1-9.

- BARRON, E.J. & WASHINGTON, W.M. 1982. Cretaceous climate: a comparison of atmospheric simulations with the geologic records. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 40, p. 103-133.
- BARRON, E.J.; FAWCETT, P.J. & PETERSON, W.H. 1995. A "simulation" of mid-Cretaceous climate. **Paleoceanography**, v. 10, n. 5, p. 953-962.
- BATES, R.L. & JACKSON, J.A. (eds.). 1987. **Glossary of Geology**. Alexandria, Virginia: American Geological Institute. 788 p.
- BAUM, J.S.; BAUM, G.R.; THOMPSON, P.R. & HUMPHREY, J.D. 1994. Stable isotopic evidence for relative and eustatic sea-level changes in Eocene to Oligocene carbonates, Baldwin County, Alabama. **Geological Society of America Bulletin**, v. 106, p. 824-839.
- BELLIER, J.-P. 1971. Les foraminifères planctoniques du Turonien-type. **Revue de Micropaléontologie**, v. 14, n. 2, p. 85-90.
- BENGTON, P. 1983. The Cenomanian-Coniacian of the Sergipe Basin, Brazil. **Fossils and Strata**, n. 12, p. 1-78.
- BENGTON, P. 1996. The Turonian stage and substage boundaries. **Bulletin de L'Institut Royal des Sciences Naturelles de Belgique, Sciences de la Terre**. p. 69-79. (Suplemento n. 66).
- BERGER, W.H. 1970. Planktonic foraminifera: selective solution and the lysocline. **Marine Geology**, v. 8, p. 111-138.
- BERGER, W.H.; VINCENT, E. & THIERSTEIN, H. 1981. The deep-sea record: major steps in Cenozoic ocean evolution. In: WARME, J.E.; DOUGLAS, R.G. & WINTERRE, E.L. (eds.). **The Deep Sea Drilling Project: A Decade of Progress**. Tulsa: SEPM. p. 169-179. (Special Publication, n. 32).
- BERGER, W.H.; SMETACEK, V.S. & WEFER, G. 1989. Ocean Productivity and Paleoproductivity - An Overview. In: BERGER, W.H.; SMETACEK, V.S. & WEFER, G. (eds.). **Productivity of the Ocean: Present and Past**. Bath: John Wiley & Sons. p. 1-34.
- BERTHOUE, P.-Y. & BENGTON, P. 1988. Stratigraphic correlation by microfacies of the Cenomanian-Coniacian of the Sergipe Basin, Brazil. **Fossils and Strata**, n. 21, p. 1-89.
- BLACK, M. 1967. New names for some coccolith taxa. **Geological Society of London**, v. 1640, p. 139-145.
- BLACK, M. 1971. The systematics of coccoliths in relation to the palaeontological record. In: FUNNELL, B.M. & RIEDEL, W.R. (eds.). **The Micropalaeontology of Oceans**. Cambridge: Cambridge University Press, p. 611-624.
- BLACK, M. 1973. British lower Cretaceous coccoliths. I - Gault Clay, Part 2. **Palaeontological Society of London**, v. 127, p. 49-112. (Monograph).

- BLACK, M. & BARNES, B. 1959. The structure of coccoliths from the English Chalk. **Geological Magazine**, v. 96, p. 321-328.
- BOLLI, H.M.; RYAN, W.B.F.; FORESMAN, J.B.; HOTTMAN, W.E.; KAGAMI, H.; LONGORIA, J.F.; MCKNIGHT, B.K.; MELGUEN, M.; NATLAND, J.H.; PROTO DECIMA, F. & SIESSER, W.G. (eds.). 1978 . Angola continental margin; Sites 364 and 365. **Initial Reports of Deep Sea Drilling Project**, v. 40, p. 357-413.
- BOTTJER, D.J.; ARTHUR, M.A.; DEAN, W.E.; HATTIN, D.E. & SAVRDA, C.E. 1986. Rhythmic bedding produced in Cretaceous pelagic carbonate environments: sensitive recorders of climatic cycles. **Paleoceanography**, v. 1, n. 4, p. 467-481.
- BOWN, P.R. & YOUNG, J.R. 1997. Mesozoic calcareous nannoplankton classification. *In*: BOWN, P.R. & YOUNG, J.R. (eds.). Proposal for a revised classification system for calcareous nannoplankton. **Journal of Nannoplankton Research**, v. 19, n. 1, p. 15-47.
- BRALOWER, T.J. 1988. Calcareous nannofossil biostratigraphy and assemblages of the Cenomanian-Turonian boundary interval: implications for the origin and timing of oceanic anoxia. **Paleoceanography**, v. 3, p. 275-316.
- BRALOWER, T.J. & THIERSTEIN, H.R. 1984. Low productivity and slow deep-water circulation in mid-Cretaceous oceans. **Geology**, v. 12, p. 614-618.
- BRALOWER, T.J. & THIERSTEIN, H.R. 1987. Organic carbon and metal accumulation rates in Holocene and mid-Cretaceous sediments: palaeoceanographic significance. *In*: BROOKS, J. & FLEET, A.J. (eds.). **Marine Petroleum Source Rocks**. London: The Geological Society. p. 345-369. (Special Publication, n. 26).
- BRALOWER, T.J.; LECKIE, R.M.; SLITER, W.V. & THIERSTEIN, H.R. 1995. An Integrated Cretaceous Microfossil Biostratigraphy. *In*: BERGGREN, W.A.; KENT, D.V.; AUBRY, M.-P. & HARDENBOL, J. (eds.). **Geochronology, Time Scales and Global Stratigraphic Correlation**. Tulsa: SEPM. p. 66-79. (Special Publication, n. 54).
- BRAMLETTE, M.N. & MARTINI, E. 1964. The great change in calcareous nannoplankton fossils between the Maastrichtian and Danian. **Micropaleontology**, v. 10, p. 292-329.
- BRASIER, M.D. 1995. Fossil indicators of nutrient levels. 1: Eutrophication and climate change. *In*: BOSENCE, D.W.J. & ALLISON, P.A. (eds.). **Marine Palaeoenvironmental Analysis from Fossils**. London: The Geological Society. p. 113-132. (Special Publication, n. 83).
- BRASS, G.W.; SOUTHAM, J.R. & PETERSON, W.H. 1982. Warm saline bottom water in the ancient ocean. **Nature**, v. 296, p. 620-623.
- BRASSELL, S.C. 1984. Aliphatic hydrocarbons of a Cretaceous black shale and its adjacent green claystone from the southern Angola Basin, Deep Sea Drilling Project Leg 75. *In*: HAY, W.; SIBUET, J.C.; BARRON, E.J.; BRASSELL, S.C.; DEAN, W.E.; HUC, A.Y.;

- KEATING, B.H.; MCNULTY, C.L.; MEYERS, P.A.; NOHARA, M.; SCHALLREUTER, R.E.L.; STEINMETZ, J.C.; STOW, D.A.V.; STRADNER, H.; BOYCE, R.E. & AMIDEI, R. (eds.). **Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project**, v. 75, Part 2, p. 1019-1030.
- BRÖNNIMANN, P. 1955. Microfossil incertae sedis from the Upper Jurassic and Lower Cretaceous of Cuba. **Micropaleontology**, v. 1, p. 28-52.
- BUKRY, D. 1969. Upper Cretaceous coccoliths from Texas and Europe. **The University of Kansas Paleontological Contributions**, article 51, p. 1-79.
- BUKRY, D. 1978. Cenozoic Silicoflagellate and Coccolith Stratigraphy, Southeastern Atlantic Ocean, Deep Sea Drilling Project Leg 40. In: BOLLI, H.M.; RYAN, W.B.F.; *et al.* (eds.). **Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project**, v. 40, Washington: U.S. Government Printing Office. p. 635-649.
- BURNETT, J.A. 1997. New taxa and new combinations of Cretaceous nannofossils. **Journal of Nannoplankton Research**, v. 19, n. 2, p. 135-146.
- BURNETT, J.A. 1998. Upper Cretaceous. In: BOWN, P.R. (ed.) **Calcareous Nannofossil Biostratigraphy**. British Micropalaeontological Society Series. London: Chapman & Hall. p. 132-199.
- BUSCH, W.H. 1991. Analysis of wet-bulk density and sediment color cycles in Pliocene-Pleistocene sediments of the Owen Ridge (Site 722) and Oman Margin (Site 728). In: PRELL, W.J.; NIITSUMA, N.; *et al.* (eds.). **Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results**, v. 117, p. 239-253.
- BUSSON, G. & NOËL, D. 1991. Les Nannoconidés, indicateurs environnementaux des océans et mers épicontinentales du Jurassique terminal et du Crétacé inférieur. **Oceanologica Acta**, v. 14, n. 4, p. 333-356.
- BUSSON, G.; DHONDT, A.; AMÉDRO, F.; NÉRAUDEAU, D. & CORNÉE, A. 1999. La grande transgression du Cénomanien supérieur-Turonien inférieur sur la Hamada de Tinrhert (Sahara algérien): datations biostratigraphiques, environnement de dépôt et comparaison d'un témoin épicrotonique avec les séries contemporaines à matière organique du Maghreb. **Cretaceous Research**, v. 20, p. 29-46.
- CALDEIRA, K. & RAMPINO, M.R. 1991. The Mid-Cretaceous super plume, carbon dioxide, and global warming. **Geophysical Research Letters**, v. 18, n. 6, p. 987-990.
- CARMO, A.M. 1997. **An isotopic and geochemical study of climatic and oceanographic factors influencing organic matter preservation during the late Cretaceous in Sergipe Basin, Brazil**. Bloomington. 192 p. Phd. Thesis, Indiana University.
- CARMO, A.M. & PRATT, L.M. 1999. Deciphering Late Cretaceous subequatorial ocean-climate interactions in the Sergipe Basin, Brazil. In: BARRERA, E. & JOHNSON, C.C. (eds.). **Evolution of the Cretaceous Ocean-Climate System**. Boulder: The Geological Society of America. p. 231-243. (Special Paper, n. 332).

- CASTRO, A.H.A. 1999. **Estudo de ciclicidade orbital com base em dados sísmicos**. Porto Alegre. 147 p. Dissertação de Mestrado em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- CEPEK, P. & HAY, W.W. 1969. Calcareous nannoplankton and biostratigraphic subdivision of the upper Cretaceous. **Transactions-Gulf coast association of geological societies**, v. 19, p. 323-336.
- CHIERCI, M.A. 1996. Stratigraphy, palaeoenvironments and geological evolution of the Ivory Coast-Ghana Basin. In: JARDINÉ, S.; KLASZ, I.de & DEBENAY, J.-P. (eds.). **Géologie de l'Afrique et de l'Atlantique Sud**. Pau: Elf aquitaine édition. p. 293-303. (*Mémoire* 16).
- COWARD, M.P.; PURDY, E.G. & SMITH, D.G. 1999. The distribution of petroleum reserves in basins of the South Atlantic margins. In: CAMERON, N.R.; BATE, R.H. & CLURE, V.S. (eds.). **The Oil and Gas Habitats of the South Atlantic**. Cambridge: The Geological Society of London. p. 101-131. (Special Publication, n. 153).
- COSTA, S.O. & CUNHA A.A.S. 1995. Caracterização morfoestrutural ao microscópio óptico e implicações bioestratigráficas de algumas espécies cretáceas da família Calyptosphaeraceae (nanofósseis calcários) documentadas nas bacias marginais brasileiras. **Boletim de Geociências da PETROBRAS**, Rio de Janeiro, v. 9, p. 203-222.
- CRUX, J.A. 1981. New calcareous nannofossil taxa from the Cretaceous of South East England. **Neues Jahrbuch fuer Geologie und Palaeontologie Monatshefte**, v. 19, p. 633-640.
- CRUX, J.A. 1982. Upper Cretaceous (Cenomanian to Campanian) calcareous nannofossils. In: LORD, A.R. (ed.). **A Stratigraphical Index of Calcareous Nannofossils**. Chichester: Ellis Horwood. p. 81-135.
- CUNHA, A.A.S. & SHIMABUKURO, S. 1997. *Braarudosphaera* blooms and anomalous enrichments of *Nannoconus*: Evidence from the Turonian South Atlantic, Santos Basin, Brazil. **Journal of Nannoplankton Research**, v. 19, n. 1, p. 51-55.
- CUNHA, A.A.S. & KOUTSOUKOS, E.A.M. 1998. Calcareous nannofossils and planktic foraminifers in the upper Aptian of the Sergipe Basin, northeastern Brazil: palaeoecological inferences. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 142, p. 175-184.
- CUNHA, A.A.S.; ANTUNES, R.L.; OLIVEIRA, L.C.V.de. & SHIMABUKURO, S. 1993. Application of calcareous nanofossils biostratigraphy in the Brazilian continental margins. In: INA CONFERENCE, 5th., Salamanca, 1993. **Abstracts...**, London: International Nannoplankton Association Newsletter, v. 15, n. 2, p. 58-59.
- DAVISON, I. 1999. Tectonics and hydrocarbon distribution along the Brazilian South Atlantic margin. In: CAMERON, N.R.; BATE, R.H. & CLURE, V.S. (eds.). **The Oil and Gas Habitats of the South Atlantic**. Cambridge: The Geological Society of London. p. 101-131. (Special Publication, n. 153).



- DEAN, W.E.; ARTHUR, M.A. & STOW, D.A.V. 1984. Origin and geochemistry of Cretaceous deep, sea black shales and multicolored claystones, with emphasis on Deep Sea Drilling Project Site 530, southern Angola Basin. *In*: HAY, W.; SIBUET, J.C.; BARRON, E.J.; BRASSELL, S.C.; DEAN, W.E.; HUC, A.Y.; KEATING, B.H.; MCNULTY, C.L.; MEYERS, P.A.; NOHARA, M.; SCHALLREUTER, R.E.L.; STEINMETZ, J.C.; STOW, D.A.V.; STRADNER, H.; BOYCE, R.E & AMIDEI, R. (eds.). **Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project**, v. 75, Part 2, p. 819-844.
- DEAN, W.E.; ARTHUR, M.A. & CLAYPOOL, G.E. 1986. Depletion of  $^{13}\text{C}$  in Cretaceous marine organic matter: source, diagenetic, or environmental signal? **Marine Geology**, v. 70, p. 119-157.
- DEAN, W.E.; GARDNER, J.V.; JANSAS, L.F.; CEPEK, P. & SEIBOLD, E. 1978. Cyclic sedimentation along the continental margin of Northwest Africa. *In*: GARDNER, J.V. & HERRING, J. (eds.). **Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project**, v. 41, p. 965-989.
- De BOER, P.L. & SMITH, D.G. 1994. Orbital Forcing and Cyclic Sequences. *In*: De BOER, P.L. & SMITH, D.G. (eds.). **Orbital Forcing and Cyclic Sequences**. Oxford: Blackwell, International Association of Sedimentologists. p. 1-14. (Special Publication, n. 19).
- DEFLANDRE, G. 1959. Sur les nannofossiles calcaires et leur systématique. **Revue Micropaléontologie**, v. 2, p. 127-152.
- DEFLANDRE, G. 1963. Sur les microrhabdulides, famille nouvelle de nannofossiles calcaires. **Comptes Rendus de l'Académie des Sciences**, v. 256, p. 3484-3486.
- DEFLANDRE, G. & FERT, C. 1954. Observations sur les coccolithophorides actuels et fossiles en microscopie ordinaire et électronique. **Annales de Paléontologie**, v. 40, p. 115-176.
- DEMAISON, G.J. & MOORE, G.T. 1980. Anoxic Environments and Oil Source Bed Genesis. **The American Association of Petroleum Geologists Bulletin**, v. 64, n. 8, p. 1179-1209.
- DEROO, G.; HERBIN, J.P. & HUC, A.Y. 1984. Organic geochemistry of Cretaceous black shales from Deep Sea Drilling Project Site 530, Leg 75, eastern South Atlantic. *In*: HAY, W.; SIBUET, J.C.; BARRON, E.J.; BRASSELL, S.C.; DEAN, W.E.; HUC, A.Y.; KEATING, B.H.; MCNULTY, C.L.; MEYERS, P.A.; NOHARA, M.; SCHALLREUTER, R.E.L.; STEINMETZ, J.C.; STOW, D.A.V.; STRADNER, H.; BOYCE, R.E & AMIDEI, R. (eds.). **Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project**, v. 75, Part 2, p. 983-999.
- DIAS, J.L.; SAD, A.R.E. & FONTANA, R.L. 1994. Bacias de Pelotas. *In*: FEIJÓ, F.J. (ed.). **Estratigrafia das bacias sedimentares do Brasil. Boletim de Geociências da PETROBRAS**, Rio de Janeiro, v. 8, n. 1, p. 235-245.

- DIAS-BRITO, D. 1995. **Calcisferas e microfácies em rochas carbonáticas pelágicas mesocretáceas**. Porto Alegre. 503 p. Tese de doutorado em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- DIESTER-HAASS, L. 1991. Rhythmic Carbonate Content Variations in Neogene Sediments Above the Oceanic Lysocline. *In*: EINSELE, G.; RICKEN, W. & SEILACHER, A. (eds.). **Cycles and Events in Stratigraphy**. Berlin: Springer-Verlag. p. 94-109.
- DITCHFIELD, P. & MARSHALL, J.D. 1989. Isotopic variation in rhythmically bedded chalks: Paleotemperature variation in the Upper Cretaceous. **Geology**, v. 17, p. 842-845.
- DOEVEN, P. H. 1983. Cretaceous nannofossil stratigraphy and paleoecology of the Canadian Atlantic Margin. **Bulletin of the Geological Survey of Canada**, v. 356, p. 1-70.
- DROXLER, A.W. & SCHLAGER, W. 1985. Glacial versus interglacial sedimentation rates and turbidite frequency in the Bahamas. **Geology**, v. 13, p. 799-802.
- DUDLEY, W.C.; BLACKWELDER, P.; BRAND, L. & DUPLESSY, J. 1986. Stable isotopic composition of coccoliths. **Marine Micropaleontology**, v. 10, p. 1-8.
- DUPLESSY, J.C.; BLANC, P.L. & BÉ, A.W.H. 1981. Oxygen-18 enrichment of planktonic foraminifera due to gametogenic calcification below the euphotic zone. **Science**, v. 213, p. 1247-1250.
- EINSELE, G. & RICKEN, W. 1991. Limestone-Marl Alternations - an Overview. *In*: EINSELE, G.; RICKEN, W. & SEILACHER, A. (eds.). **Cycles and Events in Stratigraphy**. Berlin: Springer-Verlag. p. 23-47.
- EL ALBANI, A.; KUHN, W.; LUDERER, F.; HERBIN, J.P. & CARON, M. 1999. Palaeoenvironmental evolution of the late Cretaceous sequence in the Tarfaya Basin (southwest of Morocco). *In*: CAMERON, N.R.; BATE, R.H. & CLURE, V.S. (eds.). **The Oil and Gas Habitats of the South Atlantic**. Cambridge: The Geological Society of London. p. 223-240. (Special Publication, n. 153).
- ELLIS, D.B. & MOORE, T.C. 1974. Calcium carbonate, opal and quartz in Holocene pelagic sediments and the calcite compensation level in the South Atlantic Ocean. **Journal Marine Research**, v. 31, p. 210-227.
- ESPITALIÉ, J.; LAPORTE, J.L.; MADEC, M.; MARQUIS, F.; LEPLAT, P.; PAULET, J.; BOUTEFEU, A. 1977. Méthode rapide de caractérisation des roches mères de leur potentiel pétrolier et de leur degré d'évolution. **Revue de L'institut Français du Pétrole**, v. 32, p. 23-42.
- ERBA, E. 1990. Middle Cretaceous calcareous nannofossils from the western Pacific (Leg 129); evidence for paleoequatorial crossings. *In*: LARSON, R.L.; LANCELOT, Y.; ABRAMS, L.; BEHL, R.; BUSCH, W.H.; CAMERON, P.R.C.; COVINGTON, J.M.; DÜRR, G.; ERBA, E.; FLOYD, P.A.; FRANCE-LANORD, C.; HAUSER, E.H.; KARL, S.M.; KARPOFF, A.-M.; MATSUOKA, A.; MOLINIE, A.; OGG, J.G.;

- SALIMULLAH, A.R.M.; STEINER, M.; WALLICK, B.P. & WIGHTMAN, W. (eds.). **Proceedings of the Ocean Drilling Program**, v. 129, p. 800-802.
- ERBA, E. 1992. Calcareous nannofossil distribution in pelagic rhythmic sediments (Aptian-Albian Piobbico core, central Italy). **Rivista Italiana di Paleontologia Stratigrafia**, v. 97, n. 3-4, p. 455-484.
- FAIRBANKS, R.G. & WIEBE, P.H. 1980. Foraminifera and Chlorophyll Maximum: Vertical Distribution, Seasonal Succession, and Paleoceanographic Significance. **Science**, v. 209, n. 26, p. 1524-1526.
- FISCHER, A.G.; SILVA, I.P. & De BOER, P.L. 1990. Cyclostratigraphy. In: GINSBURG, R.N. & BEAUDOIN, B. (eds.). **Cretaceous resources, events and rhythms**. Dordrecht: Kluwer Academic. p. 139-172.
- FITCHEN, W.M. 1997. Carbonate Sequence Stratigraphy and its Application to Hydrocarbon Exploration and Reservoir Development. In: PALAZ, I. & MARFURT, K.J. (eds.). **Carbonate Seismology**. Tulsa: Society of Exploration Geophysicists. p. 121-178. (Geophysical Developments Series, n. 6).
- FRAKES, L.A. & FRANCIS, J.E. 1990. Cretaceous Palaeoclimates. In: GINSBURG, R.N. & BEAUDOIN, B. (eds.). **Cretaceous resources, events and rhythms**. Dordrecht: Kluwer Academic. p. 273-287.
- FREEMAN, K.H. & HAYES, J.M. 1992. Fractionation of carbon isotopes by phytoplankton and estimates of ancient CO<sub>2</sub> levels. **Global Biogeochemical Cycles**, v. 6, n. 2, p. 185-198.
- FONTANA, R.L. 1994. **Análise geotectônica e sismoestratigráfica da Bacia de Pelotas até a Plataforma de Florianópolis**. Porto Alegre. 583 p. Tese de Doutorado em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- GARTNER Jr., S. 1968. Coccoliths and related calcareous nannofossils from Upper Cretaceous deposits of Texas and Arkansas. **The University of Kansas Paleontological Contributions**, article 48, p. 1-56.
- GEBHARDT, H. 1999. Cenomanian to Coniacian biostratigraphy and migration of North and West African ostracods. **Cretaceous Research**, v. 20, p. 215-229.
- GEBHARDT, H. & REINHOLD, C. 1999. Carbon and oxygen isotope data from the Cenomanian-Turonian boundary in the Upper Benue Trough (Ashaka, Nigeria): stratigraphic and paleoclimatological significance. **Newsletters on Stratigraphy**, v. 37, n. 1-2, p. 63-74.
- GODDARD, E.N.; TRASK, P.D.; FORD, R.K.; ROVE, R.K.; SINGEWALD, J.P. & OVERBECK, R.M. 1984. **Rock-color chart**. Boulder: Geological Society of America.
- GORKA, H. 1957. Les coccolithophorides du maestrichtien superieur de Pologne. **Acta Palaeontologica Polonica**, v. 2, p. 2-3.

- GOROSTIDI, A. & LAMOLDA, M. 1994. The increase of *Eprolithus floralis* (Stradner) in the Cenomanian-Turonian transition and its paleogeographic implications. **Journal of Nannoplankton Research**, v. 16, n. 1, p. 15-16.
- GRADSTEIN, F.M.; AGTERBERG, F.P.; OGG, J.G.; HARDENBOL, J.; Van VEEN, P.; THIERRY, J. & HUANG, Z. 1994. A Mesozoic time scale. **Journal of Geophysical Research**, v. 99, n. B12, p. 24.051-24.074.
- GRUN, W. & ALLEMANN, F. 1975. The lower Cretaceous of Caravaca (Spain); Berriasian Calcareous Nannoplankton of the Miravetes Section (Subbetic Zone, Prov. of Murcia). **Eclogae Geologicae Helvetiae**, v. 68, p. 147-211.
- HAAS, J. 1994. Lofer cycles of the Upper Triassic Dachstein platform in the Transdanubian Mid-Montains (Hungary). In: De BOER, P.L. & SMITH, D.G. (eds.). **Orbital Forcing and Cyclic Sequence**. Oxford: Blackwell Scientific Publications, International Association of Sedimentologists. p. 303-322. (Special Publication, n. 19).
- HASHIMOTO, A.T. 1995. **Contribuição ao estudo do relacionamento da palinologia e a estratigrafia de seqüências. Análise da seção do Cretáceo médio/superior da Bacia de Santos, Brasil**. Porto Alegre. 130 p. Dissertação de Mestrado em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- HARBAUGH, J.W. & MERRIAM, D.F. 1968. **Computer Applications in Stratigraphic Analysis**. London: John Wiley & Sons Inc. 282 p.
- HAY, W.W. 1977. Calcareous nannofossils. In: RAMSAY, A.T.S. (ed.). **Oceanic Micropaleontology**, v. 2, p. 1055-1200.
- HAY, W.W. 1995. Paleooceanography of Marine Organic-Carbon-Rich sediments. In: HUC, A.-Y. (ed.). **Paleogeography, paleoclimate, and source rocks**. Tulsa: The American Association of Petroleum Geologists. p. 21-59. (AAPG Studies in Geology, n. 40).
- HAY, W.W. 1996. Tectonics and Climate. **Geologisch Rundsch**, v. 85, p. 409-437.
- HAY, W.W. 1998. Detrital sediment fluxes from the continents to oceans. **Chemical Geology**, v. 145, p. 287-323.
- HAY, W.; SIBUET, J.C.; BARRON, E.J.; BRASSELL, S.C.; DEAN, W.E.; HUC, A.Y.; KEATING, B.H.; MCNULTY, C.L.; MEYERS, P.A.; NOHARA, M.; SCHALLREUTER, R.E.L.; STEINMETZ, J.C.; STOW, D.A.V.; STRADNER, H. & BOYCE, R.E. 1984. Site 530; Walvis Ridge. In: HAY, W.; SIBUET, J.C.; BARRON, E.J.; BRASSELL, S.C.; DEAN, W.E.; HUC, A.Y.; KEATING, B.H.; MCNULTY, C.L.; MEYERS, P.A.; NOHARA, M.; SCHALLREUTER, R.E.L.; STEINMETZ, J.C.; STOW, D.A.V.; STRADNER, H.; BOYCE, R.E. & AMIDEI, R. (eds.). **Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project**, v. 75, Part 1, p. 29-285.

- HESSEL, M.H.R. 1988. Lower Turonian inoceramids from Sergipe, Brazil: systematics, stratigraphy and palaeoecology. **Fossils and Strata**, n. 22, p. 1-49.
- HILBRECHT, H. & HOEFS, J. 1986. Geochemical and palaeontological studies of the  $\delta^{13}\text{C}$  anomaly in boreal and North Tethyan Cenomanian-Turonian sediments in Germany and adjacent areas. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 53, p. 169-189.
- HILBRECHT, H.; HUBBERTEN, H.-W. & OBERHÄNSLI, H. 1992. Biogeography of planktonic foraminifera and regional carbon isotope variations: productivity and water masses in Late Cretaceous Europe. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 92, p. 407-421.
- HILGEN, F.J. & LANGEREIS, C.G. 1989. Periodicities of  $\text{CaCO}_3$  cycles in the Pliocene of Sicily discrepancies with the quasi-periods of Earth's orbital cycles? **Terra Nova**, v. 1, n. 5, p. 409-415.
- HILL, M.E. 1975. Selective dissolution of mid-Cretaceous (Cenomanian) calcareous nannofossils. **Micropaleontology**, v. 21, n. 2, p. 227-235.
- HILL, M.E. 1976. Lower Cretaceous calcareous nannofossils from Texas and Oklahoma. **Palaeontographica Abteilung**, v. B156, p. 103-179.
- HOFFMANN, N., 1970. Coccolithineen aus der weissen Schreibkreide (Unter-Maastricht) von Jasmund auf Rügen. **Geologie**, v. 19, p. 846-879
- HOLBOURN, A.; KUHN, W.; EL ALBANI, A.; PLETSCH, T.; LUDERER, F. & WAGNER, T. 1999. Upper Cretaceous palaeoenvironments and benthonic foraminiferal assemblages of potential source rocks from the western African margin, Central Atlantic. In: CAMERON, N.R.; BATE, R.H. & CLURE, V.S. (eds.). **The Oil and Gas Habitats of the South Atlantic**. London: Geological Society, p. 195-222. (Special Publication, n. 153).
- HUBER, B.T.; HODELL, D.A. & HAMILTON, C.P. 1995. Middle-Late Cretaceous climate of the southern high latitudes: Stable isotopic evidence for minimal equator-to-pole thermal gradients. **Geological Society of America Bulletin**, v. 107, n. 10, p. 1164-1191.
- IMBRIE, J. & IMBRIE, K.P. 1979. **Ice Ages: Solving the Mystery**. Cambridge: Harvard University Press. 224 p.
- IRWIN H.; CURTIS, C. & COLEMAN, M. 1977. Isotopic evidence for source of diagenetic carbonates formed during burial of organic-rich sediments. **Nature**, v. 261, p. 209-213.
- JARVIS, I.; CARSON, G.A.; COOPER, M.K.E.; HART, M.B.; LEARY, P.N.; TOCHER, B.A.; HORNE, D. & ROSENFELD, A. 1988. Microfossil Assemblages and the Cenomanian-Turonian (late Cretaceous) Oceanic Anoxic Event. **Cretaceous Research**, v. 9, p. 3-103.
- JASPER, J.P.; WHELAN, J.K. & HUNT, J.M. 1984. Migration of C (sub 1) to C (sub 8) volatile organic compounds in sediments from the Deep Sea Drilling Project, Leg 75, Hole



- 530A. *In*: HAY, W.; SIBUET, J.C.; BARRON, E.J.; BRASSELL, S.C.; DEAN, W.E.; HUC, A.Y.; KEATING, B.H.; MCNULTY, C.L.; MEYERS, P.A.; NOHARA, M.; SCHALLREUTER, R.E.L.; STEINMETZ, J.C.; STOW, D.A.V.; STRADNER, H.; BOYCE, R.E & AMIDEI, R. (eds.). **Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project**, v. 75, Part 2, p. 1001-1008.
- JENKYN, H.C. 1980. Cretaceous anoxic events: from continents to ocean. **Journal Geological Society of London**, v. 137, p. 171-188.
- JENKYN, H.C. 1986. Pelagic Environments. *In*: READING, H.G. (ed.). **Sedimentary Environments and Facies**. Oxford: Blackwell Scientific Publications, p. 343-397.
- JENKYN, H.C.; GALES, A.S.; CORFIELD, R.D. 1994. Carbon- and oxygen-isotope stratigraphy of the English Chalk and Italian Scaglia and its palaeoclimatic significance. **Geological Magazine**, v. 131, p. 1-34.
- KELTS, K. & ARTHUR, M.A. 1981. Turbidites after ten years of Deep-Sea Drilling - Wringing out the mop? *In*: WARME, J.E.; DOUGLAS, R.G. & WINTERRE, E.L. (eds.). **The Deep Sea Drilling Project: A Decade of Progress**. Tulsa: SEPM, p. 91-128. (Special Publication, n. 32).
- KENDALL, C.G.St.C. & SCHLAGER, W. 1981. Carbonates and Relative Changes in Sea Level. **Marine Geology**, v. 44, p. 181-212.
- KENNETT, J.P. (ed.). 1982. **Marine Geology**. Prentice: Hall Inc. Englewood cliffs. 813 p.
- KIANG, C.H. & KOWSMANN, R.O. 1984. Subsidência térmica e espessura crustal na Bacia de Santos. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 33., Rio de Janeiro, 1984. **Anais ...**, Rio de Janeiro: SBG, p. 1602-1614.
- KOUTSOUKOS, E.A.M. 1989. **Mid- to Late Cretaceous microbiostratigraphy, palaeoecology and palaeogeography of the Sergipe Basin, northeastern Brazil**. Plymouth. 886 p. Phd. Thesis, Council for National Academic Awards, Polytechnic South West.
- KOUTSOUKOS, E.A.M. 1992. Late Aptian to Maastrichtian foraminiferal biogeography and palaeoceanography of the Sergipe Basin, Brazil. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 92, p. 295-324.
- KOUTSOUKOS, E.A.M. & BENGTON, P. 1993. Towards an integrated biostratigraphy of the upper Aptian-Maastrichtian of the Sergipe Basin, Brazil. **Document Laboratoire Géologique Lyon**, n. 125, p. 241-262.
- KOUTSOUKOS, E.A.M.; MELLO, M.R. & AZAMBUJA FILHO, N.C.de. 1991. Micropalaeontological and geochemical evidence of mid-Cretaceous dysoxic-anoxic palaeoenvironments in the Sergipe Basin, northeastern Brazil. *In*: TYSON, R.V. & PEARSON, T.H. (eds.). **Modern and Ancient Continental Shelf Anoxia**. Bath: The Geological Society London. p. 427-447. (Special Publication, n. 58).

- KOUTSOUKOS, E.A.M.; DESTRO, N.; AZAMBUJA FILHO, N.C.de & SPADINI, A.R. 1993. Upper Aptian-Lower Coniacian Carbonate Sequences in the Sergipe Basin, Northeastern Brazil. *In*: SIMO, T.; SCOTT, B.W. & MASSE, J.-P. (eds.). **Atlas of Cretaceous Carbonate Platforms**. Tulsa: AAPG. p. 127-144. (*Memoir* 56).
- KUHNT, W. & WIEDMANN, J. 1995. Cenomanian-Turonian Source Rocks: Paleobiogeographic and Paleoenvironmental Aspects. *In*: HUC, A.-Y. (ed.). **Paleogeography, paleoclimate, and source rocks**. Tulsa: The American Association of Petroleum Geologists. p. 213-231. (AAPG Studies in Geology, n. 40).
- KUHNT, W.; NEDERBRAGT, A. & LEINE, L. 1997. Cyclicity of Cenomanian-Turonian organic-carbon-rich sediments in the Tarfaya Atlantic Coastal Basin (Morocco). **Cretaceous Research**, v. 18, p. 587-601.
- LAMOLDA, M.A.; GOROSTIDI, A.; MARTINEZ, R.; LÓPEZ, G. & PERYT, D. 1997. Fossil occurrences in the Upper Cenomanian-Lower Turonian at Ganuza, northern Spain: an approach to Cenomanian/Turonian boundary chronostratigraphy. **Cretaceous Research**, v. 18, p. 331-353.
- LANDIM, P.M.B. 1997. **Análise Estatística de Dados Geológicos**. São Paulo: UNESP. 226 p. (Ciência e Tecnologia).
- LARSON, R.L. 1991. Geological consequences of superplumes. **Geology**, v. 19, p. 963-966.
- LUDWIG, W.J.; KRASHENINNIKOV, V.A.; BASOV, I.A.; BAYER, U.; BLOEMENDAL, J.; BORNHOLD, B.; CIESIELSKI, P.F.; GOLDSTEIN, E.H.; ROBERT, C.; SALLOWAY, J.C.; USHER, J.L.; VON DER DICK, H.; WEAVER, F.M. & WISE, S.W. 1983. Site 511. **Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project**, v. 71, Part 2. p. 21-81
- MAGNIEZ-JANNIN, F. & MULLER, C. 1987. Cretaceous stratigraphic and paleoenvironmental data from the South Atlantic (foraminifers and nannoplankton). **Revista Brasileira de Geociências**, v. 17, n. 2, p. 100-105.
- MANIVIT, H. 1965. Nannofossiles calcaires de l'albo-aptien. **Revue Micropaléontologie**, v. 8, p. 189-201.
- MANIVIT, H. 1971. **Nannofossiles calcaires du Cretace français ( Aptien-Maestrichtien )**. **Essai de biozonation appuyée sur les stratotypes**. Paris. 187 p. Tese de doutorado. Université de Paris.
- MANIVIT, H.; PERCH-NIELSEN, K.; PRINS, B. & VERBEEK, J.W. 1977. Mid Cretaceous calcareous nannofossil biostratigraphy. **Proceedings of the Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen, Serie B**, v. 80, p. 169-181.
- MARÇAL, R.A. 1993. **Caracterização das feições diagenéticas e fatores controladores da diagênese em rochas carbonáticas albianas da margem continental brasileira**. Ouro Preto. 142 p. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Ouro Preto, Escola de Minas, Departamento de Geologia.

- MARGALEF, R. 1995. **Ecologia**. Barcelona: Omega, 951 p.
- MARSHALL, J.D. 1992. Climatic and oceanographic isotopic signals from the carbonate rock record and their preservation. **Geological Magazine**, v. 129, n. 2, p. 143-160.
- MARTINS, F.A.L. & MOREIRA, J.L.P. 1994. Estratigrafia física do Cretáceo superior com base em correlações de perfis elétricos de poços da bacia de Campos. In: **SEMINÁRIO DE INTERPRETAÇÃO EXPLORATÓRIA-SITEX**, 2., Rio de Janeiro, PETROBRAS, p. 45-50.
- MASCLE, J.; LOHMANN, G.P.; CLIFT, P.D.; *et al.* 1996. Principal Results. In: **Initial reports Proceedings of the ocean drilling program**, v. 159, p. 297-314.
- MATTER, A.; DOUGLAS, R.G. & PERCH-NIELSEN, K. 1975. Fossil preservation, geochemistry, and diagenesis of pelagic carbonates from Shatsky Rise, northwest Pacific. In: LARSON, R.L.; MOBERLY, R.; BUKRY, D.; FOREMAN, H.P.; GARDNER, J.V.; KEENE, J.B.; LANCELOT, Y.; LUTERBACHER, H.; MARSHALL, M.C. & MATTER, A. (eds.). **Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project**, v. 32, p. 891-922.
- MELGUEN, M. 1978. Facies evolution, carbonate dissolution cycles in sediments from the eastern south atlantic (DSDP LEG 40) since the early Cretaceous. In: BOLLI, H.M.; RYAN, W.B.F.; FORESMAN, J.B.; HOTTMAN, W.E.; KAGAMI, H.; LONGORIA, J.F.; MCKNIGHT, B.K.; MELGUEN, M.; NATLAND, J.H.; PROTO DECIMA, F. & SIESSER, W.G. 1978 (eds.). Angola continental margin; Sites 364 and 365. **Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project**, v. 40, p. 981-1023.
- MELGUEN, M.; LE PICHON, X. & SIBUET, J.C. 1978. Paléoenvironnement de l'Atlantique sud. **Bulletin de la Societe. Géologique de France**, v. 20, n. 4, p. 471-489.
- MELLO, M.R.; KOUTSOUKOS, E.A.M.; HART, M.B.; BRASSELL, S.C. & MAXWELL, J.R. 1989. Late Cretaceous anoxic events in the Brazilian continental margin. **Organic Geochemistry**, v. 14, n. 5, p. 529-542.
- MEYERS, P.A.; BRASSELL, S.C. & HUC, A.Y. 1984. Geochemistry of organic carbon in South Atlantic sediments from Deep Sea Drilling Project Leg 75. In: HAY, W.; SIBUET, J.C.; BARRON, E.J.; BRASSELL, S.C.; DEAN, W.E.; HUC, A.Y.; KEATING, B.H.; MCNULTY, C.L.; MEYERS, P.A.; NOHARA, M.; SCHALLREUTER, R.E.L.; STEINMETZ, J.C.; STOW, D.A.V.; STRADNER, H.; BOYCE, R.E. & AMIDEI, R. (eds.). **Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project**, v. 75, Part 2, p. 967-981.
- MIRANDA, L.O.S. 1970. Geologia das bacias na plataforma sul-brasileira. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 24., Brasília, 1970. **Anais ...**, Brasília: SBG, p. 129-140.
- MITCHELL, S.F.; BALL, J.D.; CROWLEY, S.F.; MARSHALL, J.D.; PAUL, C.R.C.; VELTKAMP, C.J. & SAMIR, A. 1997. Isotope data from Cretaceous chalks and foraminifera: Environmental or diagenetic signals? **Geology**, v. 25, n. 8, p. 691-694.

- MOLINIE, A.J. & OGG, J.G. 1992. Milankovitch cycles in Upper Jurassic and Lower Cretaceous radiolarites of the Equatorial Pacific: spectral analysis and sedimentation rate curves. *In*: LARSON, R.L.; LANCELOT, Y. *et al.* (eds.). **Proceedings of the Ocean Drilling Program**, v. 129, p. 529-547. (Scientific results).
- MOORE, T.C.; RABINOWITZ, P.; BORELLA, P.E.; SHACKLETON, N.J. & BOERSMA, A. 1984. History of the Walvis Ridge. *In*: BLASKESLEE, J.H. & LEE, M. (eds.). **Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project**, v. 74, p. 873-893.
- MORSE, J.W. & MACKENZIE, F.T. 1990. **Geochemistry of Sedimentary Carbonates**. Amsterdam: Elsevier. 707 p. (Developments in sedimentology, n. 48).
- MÜLLER, P.J. & SUESS, E. 1979. Productivity, sedimentation rate, and sedimentary organic matter in the oceans – I. Organic carbon preservation. **Deep Sea Research**, v. 26 A, p. 1347-1362.
- MULLINS, H.T. 1983. Comments and reply on Eustic control of turbidites and winnowed turbidites. **Geology**, v. 11, n. 1, p. 57-59.
- MUTTERLOSE, J. 1987. Calcareous Nannofossils and Belemnites as Warm water indicators from the NW-German Middle Aptian. **Geologisches Jahrbuch**, A 96, p. 293-313.
- NEDERBRAGT, A.J. & FIORENTINO, A. 1999. Stratigraphy and palaeoceanography of the Cenomanian-Turonian Boundary Event in Oued Mellegue, north-western Tunisia. **Cretaceous Research**, v. 20, p. 47-62.
- NETO, A.S.T.; WANDERLEY FILHO, J.R. & FEIJÓ, F.J. 1994. Bacias de Jacuípe, Camamu e Almada. *In*: FEIJÓ, F.J. (ed.). Estratigrafia das bacias sedimentares do Brasil. **Boletim de Geociências da PETROBRAS**, Rio de Janeiro, v. 8, n. 1, p. 173-184.
- NIEBUHR, B. & PROKOPH, A. 1997. Periodic-cyclic and chaotic successions of Upper Cretaceous (Cenomanian to Campanian) pelagic sediments in the North German Basin. **Cretaceous Research**, v. 18, p. 731-750.
- NOËL, D. 1958. Étude de coccolithes du jurassique et du crétacé inférieur. **Publications du Service de la Carte Géologique de l'Algérie**, v. 20, p. 155-196.
- NOËL, D. 1965. Sur les coccolithes du jurassique européen et d'Afrique du nord - Essai de classification des coccolithes fossiles. **Éditions du Centre National de la Recherche Scientifique**, v. 20, p. 1-206.
- NOËL, D. 1970. Coccolithes crétacés; la craie campanienne du bassin de Paris. **Édition du Centre National de la Recherche Scientifique**, v. 129, p. 1-25.
- NOHARA, M.; ISHIZUKA, T. & GIESKES, J.M. 1984. Organic carbon isotopic composition in Cretaceous sediments, Angola Basin, southeastern Atlantic, Deep Sea Drilling Project Site 530. *In*: HAY, W.; SIBUET, J.C.; BARRON, E.J.; BRASSELL, S.C.; DEAN, W.E.; HUC, A.Y.; KEATING, B.H.; MCNULTY, C.L.; MEYERS, P.A.; NOHARA, M.;

- SCHALLREUTER, R.E.L.; STEINMETZ, J.C.; STOW, D.A.V.; STRADNER, H.; BOYCE, R.E. & AMIDEI, R. (eds.). **Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project**, v. 75, Part 2, p. 1051-1054.
- OBRADOVICH, J.D. 1993. A Cretaceous time scale. *In*: CALDWELL, W.G.E. & KAUFFMAN, E.G. (eds.). **Evolution of the Western Interior Basin**. Geological Association of Canada. p. 379-396. (Special Paper, n. 39).
- OLIVEIRA, L.C.V. 1997. **Arcabouço estratigráfico do Albo-Maastrichtiano da Bacia de Campos: Um estudo com base em nanofósseis calcários e suas relações com marcos elétricos - estratigráficos e a estratigrafia química**. Porto Alegre. 181 p. Dissertação de Mestrado em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- OLIVEIRA, L.C.V.; BOTELHO NETO, J. & COSTA, L.A.R. 1994. Evolução deposicional e paleoambiental da porção Norte da Plataforma de Regência (Bacia do Espírito Santo): Um estudo multidisciplinar. *In*: SEMINÁRIO DE INTERPRETAÇÃO EXPLORATÓRIA-SITEX, 2., Rio de Janeiro, PETROBRAS, 1994. **Anais**, p. 21-26.
- PARK, J. & OGLESBY, R.J. 1994. The effect of orbital cycles on Late and Middle Cretaceous climate: a comparative general circulation model study. *In*: De BOER, P.L. & SMITH, D.G. (eds.). **Orbital Forcing and Cyclic Sequences**. Oxford: Blackwell Scientific Publications, International Association of Sedimentologists. p. 509-530. (Special Publication, n. 19).
- PARK, J.; D'HONDT, S.L.; KING, J.W. & GIBSON, C. 1993. Late Cretaceous Precessional Cycles in Double Time: A Warm-Earth Milankovitch Response. **Science**, v. 261, p. 1431-1434.
- PARRISH, J.T. 1993. Palaeoclimatic history of the opening South Atlantic. *In*: GEORGE, W. & LAVOCAT, R. (eds.). **The Africa-South America Connection**. Oxford: Oxford University Press. p. 28-43. (Oxford Monographs on Biogeography, n. 7).
- PARRISH, J.T. 1995. Paleogeography of  $C_{org}$ -Rich Rocks and the Preservation Versus Production Controversy. *In*: HUC, A.-Y. (ed.). **Paleogeography, paleoclimate, and source rocks**. Tulsa: The American Association of Petroleum Geologists. p. 1-20. (AAPG Studies in Geology, n. 40).
- PARRISH, J.T. & CURTIS, R.L. 1982. Atmospheric circulation, upwelling, and organic-rich rocks in the Mesozoic and Cenozoic eras. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 40, p. 31-66.
- PARRISH, J.T. & SPICE, R.A. 1988. Late Cretaceous terrestrial vegetation: a near-polar temperature. **Geology**, v. 16, p. 22-25.
- PERCH-NIELSEN, K. 1968. Der Feinbau und die Klassifikation der Coccolithen aus dem Maastrichtien von Dänemark. **Det kongelige Dansk Videnskabernes Selskab Biologiske os Skrifter**, v. 16, p. 1-93.



- PERCH-NIELSEN, K. 1977. Albian to Pleistocene calcareous nannofossils from the western South Atlantic. *In*: PERCH-NIELSEN, K.; SUPKO, P.R.; BOERSMA, A.; CARLSON, R.L.; DINKELMAN, M.G.; FODOR, R.V.; KUMAR, N.; MCCOY, F.; THIEDE, J. & ZIMMERMAN, H.B. (eds.). Initial reports of the Deep Sea Drilling Project covering Leg 39 of the cruises of the drilling vessel Glomar Challenger; Amsterdam, Netherlands to Cape Town, South Africa, October-December 1974. **Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project**, v. 39, p. 699-823
- PERCH-NIELSEN, K. 1979. Calcareous Nannofossils from the Cretaceous between the North Sea and the Mediterranean. *Aspekte der Kreide Europas*. **Journal Wiedmann**, v. 6, p. 223-273.
- PERCH-NIELSEN, K. 1984. Validation of new combinations. **International Nannoplankton Association (INA) Newsletter**, v. 6, p. 42-46.
- PERCH-NIELSEN, K. 1985. Mesozoic calcareous nannofossils. *In*: BOLLI, H.M.; SAUNDERS, J.B. & PERCH-NIELSEN, K. (eds.). **Plankton Stratigraphy**. Cambridge: Cambridge University Press. p. 329-426.
- PERCH-NIELSEN, K.; SUPKO, P.R.; BOERSMA, A.; CARLSON, R.L.; DINKELMAN, M.G.; FODOR, R.V.; KUMAR, N.; MCCOY, F.; THIEDE, J. & ZIMMERMAN, H.B. 1977. Site 356; Walvis Ridge (seamount). *In*: PERCH-NIELSEN, K.; SUPKO, P.R.; BOERSMA, A.; CARLSON, R.L.; DINKELMAN, M.G.; FODOR, R.V.; KUMAR, N.; MCCOY, F.; THIEDE, J. & ZIMMERMAN, H.B. (eds.). Initial reports of the Deep Sea Drilling Project covering Leg 39 of the cruises of the drilling vessel Glomar Challenger; Amsterdam, Netherlands to Cape Town, South Africa, October-December 1974. **Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project**, v. 39, p. 141-230.
- PEREIRA, M.J. 1990. **Análise estratigráfica e deposicional das formações Itajaí superior e Juréia inferior (Mesoturoniano/Eosantoniano), Bacia de Santos, Brasil**. Rio de Janeiro. 164 p. Dissertação de Mestrado em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- PEREIRA, M.J. 1994. **Seqüências Depositionais de 2° e 3° Ordens (50 a 2 Ma) e Tectono-Estratigrafia no Cretáceo de Cinco Bacias Marginais do Brasil, Comparações com outras Áreas do Globo e Implicações Geodinâmicas**. Porto Alegre. 436 p. Tese de Doutorado em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- PEREIRA, M.J. & FEIJÓ, F.J. 1994. Bacia de Santos. *In*: FEIJÓ, F.J. (ed.). **Estratigrafia das bacias sedimentares do Brasil**. **Boletim de Geociências da PETROBRAS**, Rio de Janeiro, v. 8, n. 1, p. 219-234.
- PERLMUTTER, M.A. & MATTHEWS, M.D. 1989. Global Cyclostratigraphy - A Model. *In*: CROSS, T.A. (ed.). **Quantitative Dynamic Stratigraphy**. Londres: Prentice Hall. p. 233-260.

- PETEERS, S.W. 1978. Stratigraphic Evolution of The Benue Trough and its implications for the Upper Cretaceous paleogeography of West Africa. **Journal of Geology**, v. 86, p. 311-322.
- PIPER, D.J.W. 1978. Turbidite Muds and Silts on Deep Sea Fans and Abyssal Plains. *In*: STANLEY, D.J. & KELLING, G. (eds.). **Sedimentation in Submarine Canyons, Fans and Trenches**. Stroudsburg: Dowden, Hutchinson & Ross, Inc. p. 163-176.
- PIPER, D.J.W. & STOW, D.A.V. 1991. Fine-Grained Turbidites. *In*: EINSELE, G.; RICKEN, W. & SEILACHER, A. (eds.). **Cycles and Events in Stratigraphy**. Berlin: Springer-Verlag. p. 360-376.
- POPP, B.N.; TAKIGIKU, R.; HAYES, J.M.; LOUDA, J.W. & BAKER, E.W. 1989. The post-paleozoic chronology and mechanism of  $^{13}\text{C}$  depletion in primary marine organic matter. **American Journal of Science**, v. 289, p. 436-454.
- PRINCE, G.D.; SELLWOOD, B.W. & VALDES, P.J. 1995. Sedimentological evaluation of general circulation model simulations for the "greenhouse" Earth: Cretaceous and Jurassic case studies. **Sedimentary Geology**, v. 100, p. 159-180.
- PROKOPH, A. & AGTERBERG, F.P. 1999. Detection of sedimentary cyclicity and stratigraphic completeness by wavelet analysis: An application to late Albian cyclostratigraphy of the western Canada sedimentary basin. **Journal of Sedimentary Research**, v. 69, n. 4, p. 862-875.
- PROTO DECIMA, F.; MEDIZZA, F. & TODESCO, L. 1978. Southeastern Atlantic, Leg. 40 calcareous nannofossils. *In*: BOLLI, H.M.; RYAN, W.B.F.; FORESMAN, J.B.; HOTTMAN, W.E.; KAGAMI, H.; LONGORIA, J.F.; MCKNIGHT, B.K.; MELGUEN, M.; NATLAND, J.H.; PROTO DECIMA, F. & SIESSER, W.G. (eds.). **Angola continental margin; Sites 364 and 365. Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project**, v. 40, p. 571-634.
- RABINOWITZ, P.D. & LA BREQUE, J. 1979. The Mesozoic South Atlantic Ocean and evolution of its continental margins. **Journal of Geophysical Research**, v. 84, n. B11, p. 5973-6001.
- RAILSBACK, L.B. & ANDERSON, T.F. 1989. Paleoceanographic modeling of temperature-salinity profiles from stable isotopic data. **Paleoceanography**, v. 4, n. 5, p. 585-591.
- RANGEL, H.D.; MARTINS, F.A.L.; ESTEVES, F.R. & FEIJÓ, F.J. 1994. Bacia de Campos. *In*: FEIJÓ, F.J. (ed.). **Estratigrafia das bacias sedimentares do Brasil. Boletim de Geociências da PETROBRAS**, Rio de Janeiro, v. 8, n. 1, p. 203-217.
- REIJMER, J.J.G.; SPRENGER, A.; TEN KATE, W.G.H.Z.; SCHLAGER, W. & KRYSTYN, L. 1994. Periodicities in the composition of Late Triassic calciturbidites (Eastern Alps, Austria). *In*: De BOER, P.L. & SMITH, D.G. (eds.). **Orbital Forcing and Cyclic Sequence**. Oxford: Blackwell Scientific Publications, International Association of Sedimentologists. p. 323-343. (Special Publication, n. 19).

- REINHARDT, P. 1964. Einige Kalkflagellaten-Gattungen (Coccolithophoriden, Coccolithineen) aus dem Mesozoikum Deutschlands. **Monatsberichte der Deutschen Akademie der Wissenschaften zu Berlin**, v. 6, p. 49-59.
- REINHARDT, P. 1965. Neun Familien für fossile Kalkflagellaten (Coccolithophoriden, Coccolithineen) aus dem Mesozoikum Deutschlands. **Monatsberichte der Deutschen Akademie der Wissenschaften zu Berlin**, v. 7, p. 30-409.
- REINHARDT, P. 1966. Fossile Vertreter coronoider und styloider Coccolithen (Familie Coccolithaceae Poche 1913). **Monatsberichte der Deutschen Akademie der Wissenschaften zu Berlin**, v. 8, p. 13-24.
- REINHARDT, P. 1971. Synopsis der Gattungen und Arten der mesozoischen Coccolithen und anderer kalkiger Nannofossilien. **Freiberger Forschungshefte**, v. 41, p. 19-41.
- REYMENT, R.A.; BENGTSON, P. & TAIT, E.A. 1976. Cretaceous Transgressions in Nigeria and Sergipe-Alagoas (Brazil). **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 48, p. 253-264. (Suplemento).
- RICKEN, W. 1993. Sedimentation as a Three-Component System - Organic Carbon, Carbonate, Noncarbonate. **Lecture Notes in Earth Sciences**. Germany: Springer-Verlag. 211 p.
- ROBASZYNSKI, F.; HARDENBOL, J.; CARON, M.; AMÉDRO, F.; DUPUIS, C.; GONZÁLEZ DONOSO, J.-M.; LINARES, D. & GARTNER, S. 1993. Sequence stratigraphy in a distal environment: the Cenomanian of the Kalaat Senan region (central Tunisia). **Bulletin des Centres de Recherches Exploration-Production Elf Aquitaine**, v. 17, n. 2, p. 395-433.
- RODRIGUES, E.F. 1996. **Procedimento de análise e calibração do calcimetro Frann**. Rio de Janeiro: PETROBRAS/CENPES/DIGER-CT 21/96. 6 p. (Relatório Interno).
- ROTH, P.R. 1978. Cretaceous nannoplankton biostratigraphy and oceanography of the northwestern Atlantic Ocean. In: BENSON, W.E.; SHERIDAN, R.E.; PASTOURET, L.; ENOS, P.; FREEMAN, F.; GRADSTEIN, F.; WEAVER, F.M. & STUERMER, D.H. (eds.). **Initial reports of the Deep Sea Drilling Project**, v. 44, p. 731-760.
- ROTH, P. 1984. Preservation of calcareous nannofossils and fine-grained carbonate particles in Mid, Cretaceous sediments from the southern Angola Basin, Site 530. In: HAY, W.; SIBUET, J.C.; BARRON, E.J.; BRASSELL, S.C.; DEAN, W.E.; HUC, A.Y.; KEATING, B.H.; MCNULTY, C.L.; MEYERS, P.A.; NOHARA, M.; SCHALLREUTER, R.E.L.; STEINMETZ, J.C.; STOW, D.A.V.; STRADNER, H.; BOYCE, R.E. & AMIDEI, R. (eds.). **Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project**, v. 75, Part 2, p. 651-655.
- ROTH, P.H. 1989. Ocean circulation and calcareous nannoplankton evolution during the Jurassic and Cretaceous. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 74, p. 111-126.

- ROTH, P.H. & THIERSTEIN, H. 1972. Calcareous nannoplankton. *In*: HAYES, D.E.; PIMM, A.C.; BECKMANN, J.P.; BENSO, W.E.; BERGER, W.H.; ROTH, P.H.; SUPKO, P.R. & RAD, U. (eds.) **Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project**, v. 14, p. 421-453.
- ROTH, P.H. & BOWDLE, J.L. 1981. Mid-Cretaceous Nannoplankton biogeography and oceanography of the atlantic ocean. *In*: WARME, J.E.; DOUGLAS, R.G. & WINTERRE, E.L. (eds.). **The Deep Sea Drilling Project: A decade of progress**. Tulsa: SEPM. p. 517-546. (Special Publication, n. 32).
- ROTH, P.H. & KRUMBACH, K.R. 1986. Middle Cretaceous calcareous nannofossil biogeography and preservation in the Atlantic and Indian ocean: implications for paleoceanography. **Marine Micropaleontology**, v. 10, p. 235-266.
- RULLKÖTTER, J.; MUKHOPADHYAY, P. & WELTE, D.H. 1984. Geochemistry and petrography of organic matter in sediments from Hole 530A, Angola Basin, and Hole 532, Walvis Ridge, Deep Sea Drilling Project. *In*: HAY, W.; SIBUET, J.C.; BARRON, E.J.; BRASSELL, S.C.; DEAN, W.E.; HUC, A.Y.; KEATING, B.H.; MCNULTY, C.L.; MEYERS, P.A.; NOHARA, M.; SCHALLREUTER, R.E.L.; STEINMETZ, J.C.; STOW, D.A.V.; STRADNER, H.; BOYCE, R.E & AMIDEI, R. (eds.). **Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project**, v. 75, Part 2, p. 1069-1087.
- SAGEMAN, B.B.; RICH, J.; ARTHUR, M.A.; BIRCHFIELD, G.E. & DEAN, W.E. 1997. Evidence for Milankovitch Periodicities in Cenomanian-Turonian lithologic and Geochemical Cycles, Wester Interior U.S.A. **Journal of Sedimentary Research**, v. 67, n. 2, p. 286-302.
- SANTOS, C.F. 1999. Determinação do intervalo de tempo de deposição do Andar Buracica (eobarremiano da Bacia do Recôncavo) com base na cicloestratigrafia. *In*: SIMPÓSIO SOBRE O CRETÁCEO DO BRASIL, 5., Rio Claro, UNESP, 1999. **Boletim de Resumos Expandidos**, p. 393-400.
- SARNTHEIN, M.; PFLAUMANN, U.; ROSS, R. THIEDEMANN, R. & WINN, K. 1992. Transfer function to reconstruct ocean paleoproductivity: a comparison. *In*: SUMMERHAYES, C.P.; PRELL, W.L. & EMEIS, K.C. (eds.). **Upwelling systems: evolution since the Early**. London: The Geological Society. p.411-437. (Special publication n. 64).
- SCHALAGER, J. & JAMES A.F. 1978. Low-magnesian calcite limestones forming at the deep-sea floor, Tongue of the Ocean, Bahamas. **Sedimentology**, v. 25, p. 675-702.
- SCHLANGER, S.O.; ARTHUR M.A.; JENKYN, H.C. & SCHOLLE, P.A. 1987. The Cenomanian-Turonian Oceanic Anoxic Event, I. Stratigraphy and distribution of organic carbon-rich beds and the marine  $\delta^{13}\text{C}$  excursion. *In*: BROOKS, J. & FLEET, A.J. (eds.). **Marine Petroleum Source Rocks**. Londres: The Geological Society. p. 371-399. (Special Publication, n. 26).

- SCHALLER, H. 1969. Revisão estratigráfica da Bacia de Sergipe / Alagoas. **Boletim Técnico da PETROBRAS**, Rio de Janeiro, v. 12, n. 1, p. 21-86.
- SCHOLLE, P.A. & ARTHUR, M.A. 1980. Carbon Isotope Fluctuations in Cretaceous Pelagic Limestones: Potential Stratigraphic and Petroleum Exploration Tool. **The American Association of Petroleum Geologist Bulletin**, v. 64, n. 1, p. 67-87.
- SCHOLLE, P.A. (ed.). 1996. **Oceanography 1: Origins, history, structure and plate tectonics, margins basins and sediments**. SEMP.photos CD-3 (CD-ROM).
- SCHRÖDER-ADAMS, C.J.; LECKIE, D.A.; BLOCH, J.; CRAIG, J.; McINTYRE D.J. & ADAMS, P.J. 1996. Paleoenvironmental changes in the Cretaceous (Albian to Turonian) Colorado Group of western Canada: microfossil, sedimentological and geochemical evidence. **Cretaceous Research**, v. 17, p. 311-365.
- SCHWARZACHER, W. (ed.). 1993. **Cyclostratigraphy and the Milankovitch Theory**. Amsterdam: Elsevier. 225p. (Developments in Sedimentology, n. 52).
- SCLATER, J.G.; HELLINGER, S. & TAPSCOTT, C. 1977. The paleobathymetry of the Atlantic ocean from the Jurassic to the present. **The Journal of Geology**, v. 85, n. 5, p. 509-552.
- SEELING, P. 1999. **Palaeontology and biostratigraphy of the macroinvertebrate fauna of the Cenomanian-Turonian transition of the Sergipe Basin, northeastern Brazil – with systematic descriptions of bivalves and achinoid**. Heidelberg. 163 p. Phd. Thesis, Naturwissenschaftlich – Mathematischen Gesamtfakultät der Ruprecht-kars-Universität.
- SEELING, P. & BENGTON, P. 1999. Cenomanian oysters from the Sergipe Basin, Brazil. **Cretaceous Research**, v. 20, n. 6, p. 747-746.
- SEIDOV, D.G. 1986. Mesozoic and Cenozoic oceans. **American Geophysical Union Geodynamics Series**, v. 15, p. 11-26.
- SHANMUGAM, G. & MOIOLA, J.R. 1984. Eustatic control of calciclastic turbidites. **Marine Geology**, v. 56, p. 273-278.
- SHI, G.R. 1993. Multivariate data analysis in palaeoecology and palaeobiogeography - a review. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 105, p. 199-234.
- SISSINGH, W. 1977. Biostratigraphy of Cretaceous calcareous nannoplankton. **Geologie Mijnbouw**, v. 56, n. 1, p. 37-65.
- SMITH, C. C. 1981. Calcareous nannofossils and stratigraphy of Late Turonian, Coniacian and early Santonian Age of the Eagle Ford and Austin Groups of Texas. **Geological Survey**, Professional paper 1075.
- SMITH, A.G.; SMITH, D.G. & FUNNELL, B.M. 1994. **Atlas of Mesozoic and Cenozoic coastlines**. Cambridge: Cambridge University Press. 99 p.



- SOUTHAM J.R.; PETERSON, W.H. & BRASS, G.W. 1982. Dynamics of anoxia. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 40, p. 183-198.
- SPRENGER, A. & TEN KATE, W.G. 1993. Cross-spectral analysis of two late Berriasian rhythmic limestones-marl successions in SE Spain and SE France favours orbital control. **Geologie en Mijnbouw**, v. 72, p. 69-83.
- STOVER, L.E. 1966. Cretaceous coccoliths and associated nannofossils from France and the Netherlands. **Micropaleontology**, v. 12, p. 133-166.
- STOW, D.A.V. 1984. Turbidite facies, associations, and sequences in the southeastern Angola Basin. *In*: HAY, W.; SIBUET, J.C.; BARRON, E.J.; BRASSELL, S.C.; DEAN, W.E.; HUC, A.Y.; KEATING, B.H.; McNULTY, C.L.; MEYERS, P.A.; NOHARA, M.; SCHALLREUTER, R.E.L.; STEINMETZ, J.C.; STOW, D.A.V.; STRADNER, H.; BOYCE, R.E. & AMIDEI, R. (eds.). **Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project**, v. 75, Part 2, p. 785-799.
- STOW, D.A.V. 1986. Deep Clastic Seas. *In*: READING, H.G. (ed.). **Sedimentary Environments and Facies**. Oxford: Blackwell Scientific Publications. p. 399-444.
- STOW, D.A.V. & DEAN, W.E. 1984. Middle Cretaceous black shales at Site 530 in the southeastern Angola Basin. *In*: HAY, W.; SIBUET, J.C.; BARRON, E.J.; BRASSELL, S.C.; DEAN, W.E.; HUC, A.Y.; KEATING, B.H.; McNULTY, C.L.; MEYERS, P.A.; NOHARA, M.; SCHALLREUTER, R.E.L.; STEINMETZ, J.C.; STOW, D.A.V.; STRADNER, H.; BOYCE, R.E. & AMIDEI, R. (eds.). **Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project**, v. 75, Part 2, p. 809-817.
- STOW, D.A.V. & PIPER, D.J.W. 1984. Deep-water fine-grained sediments: facies models. *In*: STOW, D.A.V. & PIPER, D.J.W. (eds.). **Fine-grained sediments: deep waters processes and facies**. Oxford: Blackwell Scientific Publications. p. 611-646.
- STRADNER, H. 1961. Vorkommen von Nannofossilien im Mesozoikum und Alttertiär. **Erdöl Zeitschrift**, v. 77, p. 77-78.
- STRADNER, H. 1962. Über neue und wenig bekannte Nannofossilien aus Kreide und Alttertiär. **Verhandlungen der Geologischen Bundesanstalt**, v. 2, p. 176-186.
- STRADNER, H. 1963. Nannofloren. *In*: GOHRBRANDT, K. (ed.). Zur Gliederung des Paläogen im Helvetikum nördlich Salzburg nach planktonischen Foraminiferen. **Mitt. Geol. Ges.**, v. 56, p. 1-116.
- STRADNER, H. & STEINMETZ, J.C. 1984. Cretaceous calcareous nannofossils from the Angola Basin, Deep Sea Drilling Project Site 530. *In*: HAY, W.; SIBUET, J.C.; BARRON, E.J.; BRASSELL, S.C.; DEAN, W.E.; HUC, A.Y.; KEATING, B.H.; McNULTY, C.L.; MEYERS, P.A.; NOHARA, M.; SCHALLREUTER, R.E.L.; STEINMETZ, J.C.; STOW, D.A.V.; STRADNER, H.; BOYCE, R.E. & AMIDEI, R. (eds.). **Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project**, v. 75, Part 2, p. 565-649.

- SWAN, A.R.H. & SANDILANDS, M. (eds.). 1995. **Introduction to geological data analysis**. Oxford: Blackwell Science. 446 p.
- TAKAKI, T. & RODRIGUES, R. 1993. Isotopic Evidence of the Cenomanian-Turonian Anoxic Event in the Sergipe-Alagoas Basin, Brazil. *In*: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE GEOQUÍMICA ORGÂNICA, 3., Manaus, ALAGO, 1993. **Boletim de Resumos Expandidos**, p. 141-143.
- TELNAES-NILS, R.; MELLO, M.R. & REQUEJO, A.G. 1998. Geochemistry of Cenomanian-Turonian Anoxic Depositional Environments: a Comparison Between Brazil and West Africa. *In*: AAPG International Conference & Exhibition, Rio de Janeiro, AAPG, 1998. **Boletim de Resumos Expandidos**, p. 596.
- THIERSTEIN, H., 1971. Foraminiferen und Nannoplankton aus einem Profil durch santone Amdenerschichten in den ostlichen Churfürstentümern. **Eclogae Geol. Helv.**, v. 64, p. 29-45.
- THIERSTEIN, H.R. 1973. Lower Cretaceous calcareous nannoplankton biostratigraphy. Austria. **Abhandlungen der Geologischen Bundesanstalt**, v. 29, p. 1-52.
- THIERSTEIN, H.R. 1974. Calcareous nannoplankton. *In*: DAVIES, T.A.; LUYENDYK, B.P.; RODOLFO, K.S.; KEMPE, D.R.C.; MCKELVEY, B.C.; HORVATH, G.J.; THIERSTEIN, H.R. & BOYLE, P. (eds.). **Initial reports of the Deep Sea Drilling Project**, v. 26, p. 619-667.
- THIERSTEIN, H.R. 1976. Mesozoic calcareous nannoplankton biostratigraphy of marine sediments. **Marine Micropaleontology**, v. 1, p. 325-362.
- THIERSTEIN H.R. & ROTH P.H. 1991. Stable isotopic and carbonate cyclicity in lower Cretaceous deep-sea sediments: Dominance of diagenetic effects. **Marine Geology**, v. 97, p. 1-34.
- TRINDADE, L.A.F.; PORCHE, E.; PENTEADO, H.L.B.; NETO, J.B.; VIVIERS, M.C. & OLIVEIRA, L.C.V. 1996. Geochemical and biostratigraphic characterization of an upper Cretaceous organic-rich condensed section in the Santos Basin. *In*: AAPG Annual Conference, San Diego, AAPG, 1996. **Boletim de Resumos Expandidos**, p. A142.
- TOLMAZIN, D. (ed.). 1985. **Elements of dynamic Oceanography**. Londres: Chapman & Hill. 181 p.
- TRÖGER, K.-A. & KENNEDY, W.J. 1996. The Cenomanian stage. **Bulletin de L'Institut Royal des Sciences Naturelles de Belgique, Sciences de la Terre**. p. 57-68. (Suplemento n. 66).
- TUCKER, J.W. 1992. Aspects of the Tano Basin stratigraphy revealed by recent drilling in Ghana. *In*: Colloques de Geologie de Libreville, Libreville, 1991. **Actes Recueil des communications**, p. 153-159.

- TUCKER, M.E. & WRIGHT, V.P. (eds.). 1990. **Carbonate Sedimentology**. Oxford: Blackwell Scientific Publications. 482 p.
- VON SALIS, K. 1998. Calcareous Nannofossils - Cretaceous Biostratigraphy. Appendix chart 5. In: HARDENBOL, J.; JAQUIN, T. & VAIL, P.R. (eds.). **Mesozoic and Cenozoic sequence stratigraphy of european basins**. Tulsa: SEMP. 786 p. (Special Publication, n. 60).
- VAN WAGONER, J.C.; POSAMENTIER, H.W.; MITCHUM Jr., R.M.; VAIL, P.R.; SARG, J.F.; LOUTIT, T.S. & HARDENBOL, J. 1988. An overview of the fundamentals of Sequence Stratigraphy and key definitions. In: WILGUS, C.K.; KENDALL, C.G.St.C.; POSAMENTIER, H.W.; ROSS, C.A. & VAN WAGONER, J.C. (eds.). **Sea-Level Changes: an Integrated Approach**. Tulsa: SEMP. p. 39-45. (Special Publication, n. 42).
- VAROL, O. 1992. Taxonomic revision of the Polycyclolithaceae and its contribution to Cretaceous biostratigraphy. **Newsletter Stratigraphy**, v. 27, n. 3, p. 93-127.
- VEKSHINA, V.N. 1959. Coccolithophoridae of the Maastrichtian deposits of the West Siberian lowland. **Siberian Science Research Institute of Geology, Geophysics, Mineralogy and raw Materials**, v. 2, p. 56-81.
- VERBEEK, J.W. 1976. Upper Cretaceous calcareous nannoplankton zonation in a composite section near El Kef, Tunisia, II. **Proceedings of the Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen Series B**, v. 79, p. 140-148.
- VERBEEK, J.W. 1977. Calcareous nannoplankton biostratigraphy of Middle and Upper Cretaceous deposits in Tunisia, Southern Spain and France. **Utrecht Micropaleontological Bulletin**, v. 16, p. 1-157.
- VERNET, R.; ASSOUA-WANDE, C.; MASSAMBA, L. & SORRIAUX, P. 1996. Paléogéographie du Crétacé (Albien-Maastrichtien) du Bassin côtier congolais. In: Géologie de l'Afrique et de l'Atlantique Sud, Pau, 1994. **Actes Colloques Angers**, 1996, p. 39-55.
- VIEIRA, R.A.B.; MENDES, M.P.; VIEIRA, P.E.; COSTA, L.A.R.; TAGLIARI, C.V.; BACELAR, L.A.P. & FEIJÓ, F.J. 1994. Bacias do Espírito Santo e Mucuri. In: FEIJÓ, F.J. (ed.). Estratigrafia das bacias sedimentares do Brasil. **Boletim de Geociências da PETROBRAS**, Rio de Janeiro, v. 8, n. 1, p. 191-202.
- VIVIERS, M.C. & REGALI, M.S.P. 1987. Estudo paleoambiental preliminar do Cretáceo da Bacia Potiguar. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 17, n. 2, p. 123-130.
- VIVIERS, M.C. & BEURLIN, G. 1987. Sobre alguns níveis de correlação bioestratigráfica regional (foraminíferos planctônicos) no Cretáceo brasileiro. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 17, n. 2, p. 106-110.

- WALLACE-DUDLEY, K. & LECKIE, D. 1993. The Lower Kaskapau Formation (Cenomanian): A Multiple-Frequency, Retrogradational Shelf System, Alberta, Canadá. **The American Association of Petroleum Geologists Bulletin**, v. 77, n. 3, p. 414-435.
- WATKINS, D.K. 1989. Biostratigraphy and paleoceanographic implications of nannofossils in marls of the Pierre Shale, Western Interior Basin. **Geological Society of America**, v. 21, p. 337.
- WEEDON, G.P. 1991. The Spectral Analysis of Stratigraphic Time Series. *In*: EINSELE, G.; RICKEN, W. & SEILACHER, A. (eds.). **Cycles and events in stratigraphy**. Berlin: Springer-Verlag. p. 840-854.
- WEISSERT, H. 1989. C-isotope stratigraphy, a monitor of paleoenvironmental change: a case study from the early cretaceous. **Surveys in Geophysics**, v. 10, p. 1-61.
- WETZEL, A. 1989. Influence of heat flow on ooze/chalk cementation: quantification from consolidation parameters in DSDP sites 504 e 505 sediments. **Journal of Sedimentary Petrology**, v. 59, n. 4, p. 539-547.
- WILLIAMS, G.E. 1989. Late Precambrian tidal rhythmites in South Australia and the history of the Earth's rotation. **Journal of the Geological Society of London**, v. 146, p. 97-111.
- WILLIAMS, B.G. & HUBBARD, R.J. 1984. Seismic stratigraphic framework and depositional sequences in the Santos Basin, Brazil. **Marine and Petroleum Geology**, v. 1, p. 91-103
- WILLIAMS, J.R. & BRALOWER, T.J. 1995. Nannofossil assemblages, fine fraction stable isotopes, and the paleoceanography of the Valanginian-Barremian (Early Cretaceous) North Sea Basin. **Paleoceanography**, v. 10, n. 4, p. 815-839.
- WINDLEY, E.D. 1995. **Calcareous nannofossil application in the study of cyclic sediments of the Cenomanian**. London. 462 p. Phd. Thesis, London University.
- WINTER, A.; JORDAN, R. & ROTH, P.H. 1994. Biogeography of living coccolithophores in ocean waters. *In*: WINTER, A. & SIESSER, W. (eds.). **Coccolithophores**. Cambridge: Cambridge University Press. p. 161-178.
- WISE Jr., S.W. & WIND, F.H. 1977. Mesozoic and Cenozoic calcareous nannofossils recovered by DSDP Leg 36 drilling on the Falkland Plateau, southwest Atlantic sector of the southern ocean. *In*: BARKER, P.; DALZIER, I.W.D.; DINKELMAN, M.G.; ELLIOT, D.H.; GOMBOS, M.A.; LONARDI, A.J.; PLAFKER, G.; TARNEY, J.; THOMPSON, R.W.; TJALMA, R.C.; BORCH, C.J. & WISE, S.W. (eds.). **Initial reports of the Deep Sea Drilling Project**, v. 36, p. 269-491.
- WISE Jr., S.W. 1984. Coccolith biostratigraphy of Deep Sea Drilling Project Leg 71 cores. **Antarctic Journal of the United States**, v. 18, p. 150-152.

- WISE Jr., S.W. 1983. Mesozoic and Cenozoic calcareous nannofossils recovered by Deep Sea Drilling Project Leg 71 in the Falkland Plateau region, Southwest Atlantic Ocean. *In*: LUDWIG, W.J.; KRASHENINNIKOV, V.A.; BASOV, I.A.; BAYER, U.; BLOEMENDAL, J.; BORNHOLD, B.; CIESIELSKI, P.F.; GOLDSTEIN, E.H.; ROBERT, C.; SALLOWAY, J.C.; USHER, J.L.; VON DER DICK, H.; WEAVER, F.M.; WISE, S.W. (eds.). **Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project**, v. 71, Part 2, p. 481-550.
- WORSLEY, T.R. 1971. Calcareous nannofossil zonation of Upper Jurassic and Lower Cretaceous sediments from the western Atlantic. *In*: FARINACCI, A. (ed.). **Proceedings of the Second Conference**. Roma: Edizioni Tecnoscienza, v. 2, p. 1301-1316.
- WYRTKI, K. 1962. The oxygen minima in relation to ocean circulation. **Deep-Sea Research**, v. 9, p. 11-23.
- YANG, W. & KOMINZ, A.M. 1999. Testing periodicity of depositional cyclicity, Cisco Group (Virgilian and Wolfcampian), Texas. **Journal of Sedimentary Research**, v. 69, n. 6, p. 1209-1231.
- ZIMMERMAN, H.B.; BOERSMA, A. & McCOY, F.W. 1987. Carbonaceous sediments and palaeoenvironment of the Cretaceous South Atlantic Ocean. *In*: BROOKS, J. & FLEET, A.J. (eds.). **Marine Petroleum Source Rocks**. Londres: The Geological Society, p. 271-286. (Special Publication, n. 26).



**ANEXOS**  
**(1-12)**

| IDENTIFICAÇÃO DAS AMOSTRAS E PROFUNDIDADES (m)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | CRONOESTRATIGRAFIA  | BIOZONAS | Número de espécies por campo                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                              | Índice de Shann on-Weaver                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                     |          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                     |          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 43-1, 20- 21 ; 366,20<br>46-1, 20- 21 ; 394,70<br>46-1, 40- 41 ; 394,90<br>46-1, 60- 61 ; 395,10<br>46-1, 80- 81 ; 395,30<br>46-1, 99- 100 ; 395,49<br>46-1, 120- 121 ; 395,70<br>46-1, 139- 140 ; 395,89<br>46-2, 20- 21 ; 396,20<br>46-2, 40- 41 ; 396,40<br>46-2, 59- 60 ; 396,59<br>46-2, 79- 80 ; 396,79<br>46-2, 99- 100 ; 396,99<br>46-2, 118- 119 ; 397,18<br>47-6, 20- 21 ; 411,70<br>47-6, 40- 41 ; 411,90<br>47-6, 60- 61 ; 412,10<br>47-6, 80- 81 ; 412,30<br>47-6, 101- 102 ; 412,51<br>47-6, 119- 120 ; 412,69<br>48-1, 17- 18 ; 413,67<br>48-1, 39- 40 ; 413,89<br>48-1, 60- 61 ; 414,10<br>48-1, 80- 81 ; 414,30<br>48-1, 100- 101 ; 414,50<br>48-1, 120- 121 ; 414,70<br>48-1, 140- 141 ; 414,90<br>49-5, 18- 19 ; 429,18<br>49-5, 39- 40 ; 429,39<br>49-5, 58- 60 ; 429,59<br>49-5, 80- 81 ; 429,80<br>49-5, 100- 101 ; 430,00<br>49-5, 120- 121 ; 430,20<br>49-5, 139- 140 ; 430,39<br>49-6, 19- 20 ; 430,69<br>49-6, 39- 40 ; 430,89 | CONIACIANO SUPERIOR | UC-10    | 21,43<br>9,68<br>9,38<br>8,33<br>5,08<br>15,00<br>15,00<br>18,75<br>11,54<br>0,85<br>12,00<br>21,43<br>4,62<br>0,00<br>30,00<br>50,00<br>30,00<br>11,54<br>23,08<br>23,08<br>9,68<br>13,64<br>14,29<br>11,11<br>0,00<br>0,00<br>0,00<br>15,79<br>18,75<br>17,65<br>25,00<br>50,00<br>75,00<br>42,86<br>30,00<br>30,00 | 2,41<br>2,75<br>2,90<br>3,04<br>2,53<br>2,94<br>2,52<br>2,62<br>2,34<br>0,77<br>2,78<br>2,70<br>1,73<br>0,00<br>3,07<br>3,07<br>3,06<br>2,96<br>3,05<br>3,05<br>2,63<br>2,57<br>2,13<br>1,60<br>0,00<br>0,00<br>0,00<br>0,94<br>0,92<br>1,29<br>1,84<br>1,58<br>1,26<br>1,76<br>2,63<br>1,97 | 9<br>32<br>23<br>25<br>10<br>26<br>27<br>43<br>36<br>1<br>34<br>29<br>2<br>0<br>18<br>26<br>18<br>20<br>27<br>23<br>4<br>6<br>4<br>1<br>0<br>0<br>0<br>1<br>1<br>1<br>2<br>1<br>1<br>1<br>1<br>1<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br> |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

Obs.: Devido a escassez de *L. moratus*, utilizou-se a última ocorrência de *R. planus* para assinalar o topo da Subzona UC-9.

ANEXO 1 - Resultados das análises quantitativas de nanofósseis e distribuição bioestratigráfica do poço DSDP-511.

| IDENTIFICAÇÃO DAS AMOSTRAS<br>E<br>PROFUNDIDADES (m) | COT (IH/O)     | CaCO <sub>3</sub> (RI) | CaCO <sub>3</sub> | W. barnesae | índice de Shannon<br>Weaver | Espécimes/campo |
|------------------------------------------------------|----------------|------------------------|-------------------|-------------|-----------------------------|-----------------|
| 40-2, 20-21 : 695,65                                 | 0.11           | 20                     |                   | 80          | 1.28                        | 9.38            |
| 40-2, 40-41 : 695,85                                 | 0.10           | 47                     |                   | 98          | 3.10                        | 20.00           |
| 40-2, 60-61 : 696,05                                 | 0.10           | 40                     |                   | 119         | 2.73                        | 16.67           |
| 40-2, 80-81 : 696,25                                 | 0.14           | 24                     |                   | 104         | 2.63                        | 4.84            |
| 40-2, 100-101 : 696,45                               | 0.08           | 16                     |                   | 93          | 1.42                        | 4.41            |
| 40-2, 120-121 : 696,65                               | 0.12           | 12                     |                   | 34          | 0.66                        | 0.57            |
| 40-2, 141-142 : 696,86                               | 0.10           | 47                     |                   | 107         | 2.84                        | 12.50           |
| 40-3, 20-21 : 697,15                                 | 0.10           | 43                     |                   | 101         | 2.85                        | 25.00           |
| 40-3, 30-31 : 697,25                                 | 0.22           | 43                     |                   | -           | -                           | -               |
| 40-3, 40-41 : 697,35                                 | 0.22           | 16                     |                   | 138         | 2.42                        | 4.17            |
| 40-3, 60-61 : 697,55                                 | 0.09           | 48                     |                   | 117         | 2.71                        | 18.75           |
| 40-3, 80-81 : 697,75                                 | 0.06           | 32                     |                   | 126         | 2.46                        | 6.12            |
| 40-3, 100-101 : 697,95                               | 0.07           | 12                     |                   | 54          | 0.59                        | 0.75            |
| 40-3, 120-121 : 698,15                               | 0.11           | 32                     |                   | 101         | 2.89                        | 13.84           |
| 40-3, 140-141 : 698,35                               | 0.09           | 12                     |                   | 157         | 2.22                        | 23.08           |
| 40-4, 20-21 : 698,65                                 | 0.09           | 39                     |                   | 144         | 2.15                        | 18.75           |
| 40-4, 40-41 : 698,85                                 | 0.08           | 35                     |                   | 164         | 2.22                        | 27.27           |
| 40-4, 60-61 : 699,05                                 | 0.11           | 12                     |                   | 32          | 0.28                        | 0.35            |
| 40-4, 80-81 : 699,25                                 | 0.7 (73/81)    | 12                     |                   | 7           | 0.09                        | 0.07            |
| 40-4, 96-97 : 699,41                                 | 1.88 (187/-)   | 32                     |                   | -           | -                           | -               |
| 40-4, 100-101 : 699,45                               | 0.72 (67/167)  | 24                     |                   | 116         | 1.08                        | 1.62            |
| 40-4, 120-121 : 699,65                               | 0.07           | 35                     |                   | 138         | 2.21                        | 7.89            |
| 40-4, 140-141 : 699,85                               | 0.12           | 31                     |                   | 44          | 0.46                        | 0.58            |
| 40-5, 19-20 : 700,14                                 | 0.06           | 20                     |                   | -           | -                           | -               |
| 40-5, 20-21 : 700,15                                 | 0.08           | 28                     |                   | 176         | 1.98                        | 7.32            |
| 40-5, 43-44 : 700,38                                 | 0.09           | 12                     | 2                 | 0           | 0                           | 0               |
| 40-5, 60-61 : 700,55                                 | 0.06           | 40                     | 41                | 125         | 2.54                        | 10.34           |
| 40-5, 80-81 : 700,75                                 | 0.09           | 16                     | 1                 | 24          | 0.95                        | 0.73            |
| 40-5, 100-101 : 700,95                               | 0.06           | 48                     | 51                | 137         | 2.48                        | 8.33            |
| 40-5, 120-121 : 701,15                               | 0.10           | 8                      | 0                 | 4           | 0.34                        | 0.19            |
| 40-5, 130-131 : 701,25                               | 2.11 (76/-)    | 24                     | -                 | -           | -                           | -               |
| 40-5, 140-141 : 701,35                               | 1.93           | 16                     | 0                 | 4           | 0.13                        | 0.11            |
| 40-6, 13-14 : 701,58                                 | 1.88 (154/-)   | 20                     | -                 | -           | -                           | -               |
| 40-6, 22-23 : 701,67                                 | 0.34           | 16                     | 0                 | 0           | 0                           | 0               |
| 40-6, 38-39 : 701,83                                 | 0.77           | 13                     | 0                 | 0           | 0                           | 0               |
| 40-6, 60-61 : 702,05                                 | 2.64           | 16                     | 1                 | 25          | 0.32                        | 0.32            |
| 40-6, 80-81 : 702,25                                 | 0.06           | 48                     | 51                | 135         | 2.55                        | 16.67           |
| 40-6, 100-101 : 702,45                               | 0.08           | 12                     | 5                 | 47          | 1.46                        | 1.28            |
| 40-6, 118-119 : 702,63                               | 1.37 (88/-)    | 36                     | -                 | -           | -                           | -               |
| 40-6, 120-121 : 702,65                               | 1.02           | 24                     | 14                | 119         | 2.16                        | 4.29            |
| 40-6, 140-141 : 702,85                               | 4.82           | 16                     | 0                 | 0           | 0                           | 3.00            |
| 41-1, 120-121 : 704,20                               | 0.06           | 16                     | 2                 | 214         | 1.47                        | 5.45            |
| 41-1, 110-111 : 704,30                               | 0.64           | 24                     | -                 | -           | -                           | -               |
| 41-1, 140-141 : 704,40                               | 0.66           | 16                     | 0                 | 0           | 0                           | 0               |
| 41-2, 20-21 : 704,70                                 | 0.09           | 4                      | 0                 | 0           | 0                           | 0               |
| 41-2, 47-48 : 704,97                                 | 1.01           | 12                     | 0                 | 0           | 0                           | 0               |
| 41-2, 60-61 : 705,10                                 | 0.67           | 24                     | 12                | 189         | 1.80                        | 6.98            |
| 41-2, 80-81 : 705,30                                 | 8.47           | 20                     | 4                 | 20          | 0.23                        | 0.23            |
| 41-2, 82-83 : 705,32                                 | 4.1 (164/-)    | 20                     | -                 | -           | -                           | -               |
| 41-2, 100-101 : 705,50                               | 4.57           | 12                     | 2                 | 65          | 0.94                        | 1.09            |
| 41-2, 120-121 : 705,70                               | 12.80          | 16                     | 1                 | 15          | 0.23                        | 0.19            |
| 41-2, 140-141 : 705,90                               | 4.96           | 20                     | 1                 | 25          | 0.64                        | 0.60            |
| 41-3, 20-21 : 706,20                                 | 0.11           | 43                     | 45                | 123         | 2.53                        | 13.04           |
| 41-3, 33-34 : 706,33                                 | 6.38 (487/-)   | 35                     | 0                 | -           | -                           | -               |
| 41-3, 40-41 : 706,40                                 | 0.01           | 32                     | 35                | 125         | 0.70                        | 1.48            |
| 41-3, 60-61 : 706,60                                 | 1.18 (120/128) | 20                     | 4                 | 135         | 2.53                        | 13.04           |
| 41-3, 80-81 : 706,80                                 | 2.51 (85/70)   | 20                     | 4                 | 0           | 0                           | 0               |
| 41-3, 100-101 : 707,00                               | 5.47 (340/53)  | 15                     | 2                 | 22          | 0.29                        | 0.27            |
| 41-3, 120-121 : 707,20                               | 6.99 (460/59)  | 36                     | 30                | 206         | 1.48                        | 6.12            |
| 41-3, 135-136 : 707,35                               | 6.67 (632/-)   | 39                     | 40                | -           | -                           | -               |
| 41-3, 140-141 : 707,40                               | 7.19 (436/62)  | 32                     | 34                | 7           | 0.09                        | 0.07            |
| 41-4, 20-21 : 707,70                                 | 0.15           | 12                     | 3                 | 228         | 1.20                        | 3.49            |
| 41-4, 41-42 : 707,91                                 | 8.88 (481/54)  | 24                     | 4                 | 58          | 0.45                        | 0.65            |
| 41-4, 53-54 : 708,03                                 | 1.75 (262/-)   | 24                     | 2                 | -           | -                           | -               |
| 41-4, 60-61 : 708,10                                 | 8.99 (460/65)  | 39                     | 40                | 88          | 0.70                        | 1.08            |
| 41-4, 80-81 : 708,30                                 | 0.08           | 70                     |                   | 116         | 2.48                        | 5.77            |
| 41-4, 100-101 : 708,50                               | 0.17           | 86                     |                   | 175         | 1.73                        | 11.11           |
| 41-4, 121-122 : 708,71                               | 0.11           | 72                     |                   | 221         | 1.20                        | 6.82            |
| 41-4, 140-141 : 708,90                               | 0.09           | 70                     |                   | 115         | 2.25                        | 9.09            |
| 41-5, 20-21 : 709,20                                 | 0.09           | 52                     |                   | 142         | 2.22                        | 8.82            |
| 41-5, 40-41 : 709,40                                 | 0.07           | 68                     |                   | 155         | 2.09                        | 4.62            |
| 41-5, 60-61 : 709,60                                 | 0.08           | 40                     |                   | 128         | 2.46                        | 9.38            |
| 41-5, 80-81 : 709,80                                 | 0.09           | 47                     |                   | 150         | 2.06                        | 7.69            |
| 41-5, 100-101 : 710,00                               | 0.09           | 47                     |                   | 150         | 1.99                        | 11.54           |
| 41-5, 120-121 : 770,20                               | 0.08           | 66                     |                   | 124         | 2.31                        | 7.69            |

LEGENDA:

IDENTIFICAÇÃO/PROFUNDIDADE - número do testemunho, seção e intervalo de coleta. A profundidade é medida a partir do fundo oceânico.

COT - porcentagem de C<sub>org</sub> medido em relação ao peso total da amostra. IH/O - índice de hidrogênio e oxigênio.

CaCO<sub>3</sub> (RI) - porcentagem de carbonato de cálcio estimado a partir do resíduo insolúvel.

CaCO<sub>3</sub> - porcentagem de carbonato de cálcio medido em calcímetro Fann ou calcímetro de coluna.

W. barnesae - número de exemplares da espécie W. barnesae correspondentes à contagem de 300 espécimes por lâmina.

Índice de Shannon-Weaver :

$$H(s) = - \sum_{i=1}^s P_i \ln P_i$$

Onde, s é o número de espécies  
P<sub>i</sub> é a proporção de cada espécie

Espécimes/campo - número de espécimes por campo de visão do microscópio (aumento 1200 X).



| IDENTIFICAÇÃO DAS AMOSTRAS E PROFUNDIDADES (m) | COT (IH/O)     | CaCO <sub>3</sub> (RI) | CaCO <sub>3</sub> | δ <sup>13</sup> C | δ <sup>18</sup> O | <i>M. furcatus</i> | <i>E. eptapetalus</i> | <i>W. barnesae</i> | Índice de Shannon-Weaver | Espécimes/campo | Cor      | Cor DSDP  |
|------------------------------------------------|----------------|------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------|-----------------------|--------------------|--------------------------|-----------------|----------|-----------|
| 22-3, 19-20; 618,69                            | 0.1            | 16                     | 3                 | 1.15              | -2.19             | 16                 |                       | 150                | 2.12                     | 42.85           | 5YR 6/6  | 2.5 Y 3/2 |
| 22-3, 39-40; 618,89                            | 0.07           | 62                     | 29                | -0.27             | -2.12             | 2                  |                       | 111                | 2.66                     | 30.00           | 5G Y 8/1 | 5 G 6/1   |
| 22-3, 59-60; 619,09                            | 0.06           | 24                     | 14                | 0.82              | -2.38             | 42                 |                       | 124                | 2.12                     | 12.50           | 10YR 8/2 | 10 YR 5/2 |
| 22-3, 81-82; 619,31                            | 0.08           | 32                     | 21                | 1.06              | -2.34             | 83                 |                       | 150                | 1.52                     | 25.00           | 10YR 8/2 | 10YR 5/2  |
| 22-3, 100-101; 619,50                          | 0.07           | 0                      | 0                 | -                 | -                 | 0                  |                       | 0                  | 0.00                     | 0.00            | 5YR 6/6  | 2.5 Y 3/2 |
| 22-3, 120-121; 619,70                          | 0.06           | 56                     | 50                | 0.12              | -2.66             | 2                  |                       | 110                | 2.87                     | 23.00           | 10YR 8/2 | 10 YR 5/2 |
| 22-3, 140-141; 619,90                          | -              | 0                      | 0                 | 0                 | 0                 | 0                  |                       | 0                  | 0                        | 0               | 5YR 7/2  | 2.5 Y 3/2 |
| 22-4, 20-21; 620,20                            | 0.07           | 62                     | 58                | -0.6              | -2.77             | 3                  |                       | 96                 | 2.89                     | 37.50           | 10YR 8/2 | 10YR 5/2  |
| 22-4, 40-41; 620,40                            | 0.06           | 52                     | 43                | 0.14              | -2.75             | 3                  |                       | 114                | 2.60                     | 30.00           | 5GY 8/1  | 5G 6/1    |
| 22-4, 60-61; 620,60                            | 0.09           | 16                     | 1                 | 1.43              | -2.54             | 65                 |                       | 95                 | 2.32                     | 5.17            | 5YR 7/2  | 2.5 Y 3/2 |
| 22-4, 80-81; 620,80                            | 0.11           | 16                     | 4                 | 1.32              | -2.72             | 66                 |                       | 128                | 1.73                     | 6.52            | 5YR 7/2  | 2.5 Y 3/2 |
| 22-4, 100-101; 621,00                          | 0.08           | 66                     | 61                | -0.39             | -2.54             | 6                  |                       | 138                | 2.52                     | 42.86           | 5G 8/1   | 5 G 6/1   |
| 23-1, 80-81; 644,80                            | 0.1            | 58                     | 52                | -0.71             | -3.28             |                    | 2                     | 125                | 2.57                     | 50.00           | N8       | 5G 6/1    |
| 23-1, 100-101; 645,00                          | 0.85           | 16                     | 3                 | -0.56             | -3.23             |                    | 19                    | 100                | 2.80                     | 33.33           | N1       | N1        |
| 23-1, 118-119; 645,18                          | 0.85           | 20                     | 3                 | 1.39              | -3.07             |                    | 97                    | 133                | 1.65                     | 7.50            | N1       | N1        |
| 23-1, 140-141; 645,40                          | 1.15           | 31                     | 18                | 0.68              | -3.06             |                    | 35                    | 128                | 1.81                     | 27.27           | 5G 8/1   | 5G 6/1    |
| 23-2, 20-21; 645,70                            | 0.15           | 43                     | 34                | 0.52              | -3.54             |                    | 18                    | 126                | 2.45                     | 33.33           | 5GY 8/1  | 5G 6/1    |
| 23-2, 40-41; 645,90                            | 0.04           | 72                     | 65                | -1.62             | -3.28             |                    | 9                     | 124                | 2.53                     | 75.00           | N8       | 5G 6/1    |
| 23-2, 60-61; 646,10                            | 0.09           | 68                     | 59                | -1.9              | -3.19             |                    | 17                    | 127                | 2.53                     | 50.00           | N8       | 5G 6/1    |
| 23-2, 80-81; 646,30                            | 0.07           | 44                     | 37                | -1.4              | -3.14             |                    | 15                    | 125                | 2.69                     | 60.00           | N8       | 5G 6/1    |
| 23-2, 100-101; 646,50                          | 0.13           | 60                     | 55                | -1.21             | -3.31             |                    | 7                     | 101                | 2.84                     | 42.86           | N8       | 5G 6/1    |
| 23-2, 120-121; 646,70                          | 0.09           | 35                     | 21                | -0.42             | -2.69             |                    | 15                    | 175                | 1.93                     | 37.50           | 5GY 8/1  | 5G 6/1    |
| 23-2, 140-141; 646,90                          | 0.07           | 56                     | 53                | -0.91             | -3.48             |                    | 10                    | 134                | 2.45                     | 42.86           | N8       | 5G 6/1    |
| 23-3, 20-21; 647,20                            | -              | -                      | -                 | -                 | -                 |                    | 10                    | 138                | 2.44                     | 42.44           | N8       | 5G 6/1    |
| 23-3, 40-41; 647,40                            | 0.08           | 68                     | 65                | -1.57             | -3.28             |                    | 8                     | 140                | 2.25                     | 60.00           | N8       | 5G 6/1    |
| 23-3, 60-61; 647,60                            | 0.26           | 48                     | 38                | -0.55             | -2.99             |                    | 22                    | 165                | 2.05                     | 33.33           | 5GY 6/1  | 5G 6/1    |
| 23-3, 80-81; 647,80                            | 0.18           | 31                     | 24                | 1.32              | -2.76             |                    | 35                    | 146                | 2.05                     | 33.33           | 5GY 6/1  | 5G 6/1    |
| 23-3, 100-101; 648,00                          | 6.19           | 0                      | 0                 | -                 | -                 |                    | 0                     | 0                  | 0                        | 0               | N1       | N1        |
| 23-3, 120-121; 648,20                          | 0.74           | 39                     | 28                | 1.11              | -2.82             |                    | 70                    | 137                | 1.81                     | 23.08           | 5GY 8/1  | 5G 6/1    |
| 23-3, 140-141; 648,40                          | 0.12           | 47                     | 39                | 0.16              | -3.59             |                    | 59                    | 136                | 2.11                     | 60.00           | 5GY 8/1  | 5G 6/1    |
| 23-4, 20-21; 648,70                            |                |                        |                   |                   |                   |                    | 6                     | 188                | 1.81                     | 50.00           | 5GY 8/1  | 5G 6/1    |
| 23-4, 40-41; 648,90                            |                |                        |                   |                   |                   |                    | 35                    | 155                | 2.04                     | 42.86           | N8       | 5G 6/1    |
| 23-4, 60-61; 649,10                            | 0.13           | 28                     | 21                | 2.03              | -2.88             |                    | 6                     | 147                | 1.79                     | 50.00           | 5G 8/1   | 5G 6/1    |
| 23-4, 80-81; 649,30                            | 0.08           | 47                     | 37                | 0.82              | -3.23             |                    | 52                    | 109                | 2.44                     | 37.50           | N8       | 5G 6/1    |
| 23-4, 100-101; 649,50                          | 0.14           | 60                     | 53                | -2.15             | -3.23             |                    | 7                     | 166                | 2.04                     | 60.00           | N8       | 5G 6/1    |
| 25-1, 20-21; 701,55                            | 0.09           | 28                     | 9,45              | -0.03             | -2.89             |                    |                       | 261                | 0.71                     | 25.00           | 5G 6/1   | 5G 6/1    |
| 25-1, 39-40; 701,74                            | 3,77 (240/47)  | 16                     | 0,5               | -                 | -                 |                    |                       | 0                  | 0                        | 0               | N1       | N1        |
| 25-1, 60-61; 701,95                            | 0.07           | 31                     | 19                | -0.19             | -2.81             |                    |                       | 279                | 0.44                     | 33.33           | 5G 8/1   | 5G 6/1    |
| 25-1, 80-81; 702,15                            | 0.11           | 24                     | 11                | 1.19              | -2.74             |                    |                       | 266                | 0.62                     | 12.50           | 5G 6/1   | 5G 6/1    |
| 25-1, 99-100; 702,34                           | 0.06           | 24                     | 7                 | -0.58             | -2.97             |                    |                       | 291                | 0.20                     | 12.00           | 5G 6/1   | 5GY 4/1   |
| 25-1, 120-121; 702,55                          | 0.06           | 27                     | 18                | 0.08              | -3.32             |                    |                       | 280                | 0.41                     | 18.75           | 5G 8/1   | 5G 6/1    |
| 25-1, 140-141; 702,75                          | 0.04           | 36                     | 22                | -1.09             | -4.31             |                    |                       | 262                | 0.65                     | 8.82            | 5G 8/1   | 5G 6/1    |
| 25-2, 25-26; 703,10                            | 0.07           | 52                     | 43,5              | -0.22             | -3.88             |                    |                       | 266                | 0.60                     | 21.43           | 5G 8/1   | 5G 6/1    |
| 25-2, 40-41; 703,25                            | 0.06           | 40                     | 32                | -0.87             | -3.52             |                    |                       | 168                | 2.05                     | 23.08           | 5G 8/1   | 5G 6/1    |
| 25-2, 59-60; 703,44                            | 0.05           | 52                     | 45                | -0.78             | -4.87             |                    |                       | 279                | 0.43                     | 14.29           | 5G 8/1   | 5G 6/1    |
| 25-2, 79-80; 703,64                            | 0.05           | 28                     | 20                | -0.75             | -3.37             |                    |                       | 267                | 0.59                     | 12.50           | 5G 6/1   | 5G 6/1    |
| 25-2, 100-101; 703,85                          | 0.04           | 48                     | 32,85             | -0.55             | -3.74             |                    |                       | 259                | 0.73                     | 25.00           | 5G 8/1   | 5G 6/1    |
| 25-2, 119-120; 704,04                          | 0.05           | 48                     | 33,3              | -0.24             | -3.56             |                    |                       | 258                | 0.65                     | 18.75           | 5G 8/1   | 5G 6/1    |
| 25-2, 139-140; 704,24                          | 0.07           | 32                     | 22                | -0.84             | -3.18             |                    |                       | 237                | 1.01                     | 15.79           | 5G 8/1   | 5G 6/1    |
| 25-3, 20-21; 704,55                            | 0.04           | 39                     | 29                | -0.15             | -3.36             |                    |                       | 234                | 1.04                     | 21.43           | 5G 8/1   | 5GY 4/1   |
| 25-3, 39-40; 704,74                            | 0,74 (128/305) | 36                     | 9,9               | 0,28              | -4,36             |                    |                       | 260                | 0,76                     | 30,00           | 5G 6/1   | 5GY 4/1   |
| 25-3, 60-61; 704,95                            | 15,7 (502/35)  | 20                     | 0                 | -                 | -                 |                    |                       | 0                  | 0                        | 0               | N1       | N1        |
| 25-3, 80-81; 705,15                            | 0.12           | 48                     | 41,5              | -0.01             | -4,19             |                    |                       | 254                | 0,79                     | 21,43           | 5G 8/1   | 5G 6/1    |
| 25-3, 99-100; 705,34                           | 0.05           | 31                     | 24                | -0.21             | -3,86             |                    |                       | 256                | 0,72                     | 7,32            | 5G 8/1   | 5G 6/1    |
| 25-3, 120-121; 705,55                          | 0.06           | 39                     | 33,5              | -0.27             | -3,77             |                    |                       | 279                | 0,39                     | 37,50           | 5G 8/1   | 5G 6/1    |
| 25-3, 140-141; 705,75                          | 0.05           | 36                     | 26                | -0.17             | -3,78             |                    |                       | 261                | 0,73                     | 23,08           | 5G 8/1   | 5G 6/1    |
| 25-4, 20-21; 706,05                            | 0.05           | 48                     | 31,5              | -0.09             | -3,74             |                    |                       | 225                | 1,21                     | 15,00           | 5G 8/1   | 5G 6/1    |
| 25-4, 40-41; 706,25                            | 0.07           | 20                     | 10                | -0.79             | -4,05             |                    |                       | 262                | 0,71                     | 8,33            | 5G 6/1   | 5G 6/1    |
| 25-4, 59-60; 706,44                            | 0.04           | 28                     | 21,5              | 0                 | -4,27             |                    |                       | 273                | 0,53                     | 10,71           | 5G 8/1   | 5G 6/1    |
| 25-4, 82-83; 706,67                            | 0,57 (84/302)  | 12                     | 4                 | 0,34              | -4,16             |                    |                       | 280                | 0,41                     | 4,29            | 5G 6/1   | 5G 6/1    |
| 25-4, 102-103; 706,87                          | 0.05           | 35                     | 27                | -0.01             | -3,56             |                    |                       | 250                | 0,84                     | 13,64           | 5G 8/1   | 5G 6/1    |
| 25-4, 119-120; 707,04                          | 1,45 (54/73)   | 12                     | 0                 | -                 | -                 |                    |                       | 0                  | 0                        | 0               | N1       | 5G 2/1    |
| 25-4, 140-141; 707,25                          | 0.05           | 24                     | 19,5              | -0.04             | -3,79             |                    |                       | 267                | 0,62                     | 11,54           | 5G 8/1   | 5G 6/1    |
| 25-5, 20-21; 707,55                            | 0.06           | 43                     | 35,5              | -0.1              | -4,52             |                    |                       | 282                | 0,31                     | 14,29           | 5G 8/1   | 5G 6/1    |
| 25-5, 40-41; 707,75                            | 0.05           | 24                     | 15                | 0,55              | -3,24             |                    |                       | 280                | 0,41                     | 14,29           | 5G 8/1   | 5G 6/1    |
| 25-5, 60-61; 707,95                            | 0.04           | 32                     | 27                | 0,3               | -3,58             |                    |                       | 282                | 0,38                     | 10,00           | 5G 8/1   | 5G 6/1    |
| 25-5, 79-80; 708,14                            | 0.08           | 12                     | 0                 | -                 | -                 |                    |                       | 0                  | 0                        | 0               | 5G 4/1   | 5G 4/1    |
| 25-5, 99-100; 708,34                           | 0.04           | 32                     | 28                | -0.07             | -4,17             |                    |                       | 272                | 0,53                     | 7,50            | 5G 8/1   | 5G 6/1    |
| 25-5, 120-121; 708,55                          | 0.07           | 24                     | 13,5              | 0,52              | -3,04             |                    |                       | 273                | 0,54                     | 7,50            | 5G 6/1   | 5G 6/1    |
| 25-5, 139-140; 708,74                          | 0.05           | 35                     | 27                | 0,3               | -3,58             |                    |                       | 198                | 1,50                     | 13,64           | 5G 8/1   | 5G 6/1    |

LEGENDA DAS COLUNAS:

IDENTIFICAÇÃO/PROFUNDIDADE - número do testemunho, seção e intervalo de coleta. A profundidade é medida a partir do fundo oceânico.

COT - Porcentagem de C<sub>org</sub> medido em relação ao peso total da amostra; IH/O - índice de hidrogênio e oxigênio.

CaCO<sub>3</sub> (RI) - porcentagem de carbonato de cálcio estimado a partir do resíduo insolúvel.

CaCO<sub>3</sub> - porcentagem de carbonato de cálcio medido em calcímetro Fann ou calcímetro de coluna.

δ<sup>13</sup>C - razões isotópicas do carbono no carbonato e em rocha total comparativas ao padrão internacional PDB.

δ<sup>18</sup>O - razões isotópicas do oxigênio no carbonato e em rocha total comparativas ao padrão internacional PDB.

*M. furcatus* - número de exemplares da espécie *M. furcatus* correspondentes à contagem de 300 espécimes.

*E. eptapetalus* - número de exemplares da espécie *E. eptapetalus* correspondentes à contagem de 300 espécimes.

*W. barnesae* - número de exemplares da espécie *W. barnesae* correspondentes à contagem de 300 espécimes.

Índice de Shannon-Weaver

$$H(s) = - \sum_{i=1}^s P_i \ln P_i \quad \text{Onde: } s \text{ é o número de espécies}$$

$$P_i \text{ é a proporção de cada espécie}$$

Espécimes/campo - número de espécimes por campo de visão do microscópio (aumento 1200 X).

Cor - Código de cor do *Rock color chart* (Godard *et al.*, 1984). A análise de cor foi feita em amostras enviadas pelo DSDP para este estudo (1-2 cm<sup>2</sup> de amostra).

Cor DSDP - Código de cor do *Rock color chart*. Cor do intervalo amostrado segundo o relatório inicial do DSDP.

ANEXO 4 - Planilha de dados do poço DSDP-364.



ANEXO 5 - Resultados das análises quantitativas de nanofósseis e tabela de distribuição bioestratigráfica do poço DSDP-364.

| IDENTIFICAÇÃO DAS AMOSTRAS E PROFUNDIDADES (m) | COT (IH/O)    | CaCO <sub>3</sub> (RI) | CaCO <sub>3</sub> | δ <sup>13</sup> C | δ <sup>18</sup> O | W.barnesae | Espécimes/ campo |
|------------------------------------------------|---------------|------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|------------|------------------|
| 87-3, 19- 20 ; 944,70                          | 0,1           | 12                     |                   |                   |                   |            |                  |
| 87- 3, 40- 41 ; 944,90                         | 0,07          | 16                     |                   | -2.20             | -5.54             |            |                  |
| 87-3, 60- 61 ; 945,10                          | 0,09          | 16                     |                   | -2.25             | -5.13             |            |                  |
| 87- 3, 81- 82 ; 945,30                         | 2,65          | 8                      |                   |                   |                   |            |                  |
| 87- 3, 100- 101 ; 945,50                       | 0,07          | 16                     |                   | -1.91             | -5.30             |            |                  |
| 87- 3, 120- 121 ; 945,70                       | 0,06          | 12                     |                   |                   |                   |            |                  |
| 87- 3, 140- 141 ; 945,90                       | 0,17          | 8                      |                   |                   |                   |            |                  |
| 87-4, 19- 20 ; 946,19                          | 0,07          | 12                     |                   |                   |                   |            |                  |
| 87- 4, 40- 41 ; 946,40                         | 0,06          | 52                     |                   | -0.76             | -4.31             |            |                  |
| 87- 4, 59-60 ; 946,59                          | 0,05          | 40                     |                   | -0.16             | -4.23             |            |                  |
| 87- 4, 79- 80 ; 946,79                         | 0,06          | 16                     |                   | -0.18             | -3.69             |            |                  |
| 87- 4 107- 108 ; 946,97                        | 0,07          | 12                     |                   | -3.76             | -3.65             |            |                  |
| 89- 1, 19- 20 ; 958,19                         | 0,08          | 20                     |                   | 1.15              | -3.57             | 155.00     | 8.57             |
| 89- 1, 40- 41 ; 958,40                         | 0,32          | 16                     |                   |                   |                   |            |                  |
| 89- 1, 60- 61 ; 958,60                         | 2,9           | 16                     |                   |                   |                   |            |                  |
| 89- 1, 81- 82 ; 958,81                         | 0,06          | 39                     |                   | -0.62             | -4.63             | 115.00     | 37.50            |
| 89- 1, 100- 101 ; 959,00                       | 0,23          | 8                      |                   |                   |                   |            |                  |
| 89- 1, 120- 121 ; 959,20                       | 0,06          | 27                     |                   | 0.09              | -3.50             | 71.00      | 18.75            |
| 89- 1, 140- 141 ; 959,40                       | 0,06          | 16                     |                   | -0.61             | -3.53             | 25.00      | 4.23             |
| 93- 2, 20- 21 ; 991,70                         | 0,08          | 12                     |                   |                   |                   |            |                  |
| 93- 2, 40- 41 ; 991,90                         | 0,07          | 12                     |                   |                   |                   |            |                  |
| 93- 2, 59- 60 ; 992,09                         | 0,05          | 8                      |                   |                   |                   |            |                  |
| 93- 2, 79- 80 ; 992,29                         | 0,04          | 43                     |                   | -2.66             | -6.14             | 205.00     | 30.00            |
| 93- 2, 99- 100 ; 992,49                        | 0,07          | 12                     |                   | -1.88             | -5.36             | 93.00      | 3.70             |
| 93- 2, 120- 121 ; 992,70                       | 0,04          | 35                     |                   | -1.93             | -5.85             | 166.00     | 27.27            |
| 93- 2, 140- 141 ; 992,90                       | 0,04          | 8                      |                   |                   |                   |            |                  |
| 95- 1, 19- 20 ; 1008,19                        | 0,04          | 24                     |                   | -8.00             | -10.26            | 202.00     | 8.57             |
| 95- 1, 40- 41 ; 1008,40                        | 0,05          | 16                     |                   | -9.66             | -9.53             |            |                  |
| 95- 1, 60- 62 ; 1008,60                        | 0,04          | 16                     |                   | -9.91             | -9.17             |            |                  |
| 95- 1, 80- 81 ; 1008,81                        | 0,08          | 24                     |                   | -0.73             | -4.04             | 115.00     | 15.00            |
| 95- 1, 99- 100 ; 1008,99                       | 0,04          | 16                     |                   | -4.25             | -6.46             | 245.00     | 7.14             |
| 95- 1, 120- 121 ; 1009,20                      | 0,05          | 12                     |                   | -3.72             | -5.46             | 230.00     | 4.41             |
| 95- 1, 139- 140 ; 1009,39                      | 0,08          | 8                      |                   |                   |                   |            |                  |
| 95- 2, 21- 22 ; 1009,71                        | 0,04          | 16                     |                   | -2.81             | -5.01             | 198.00     | 4.11             |
| 95- 2, 40- 41 ; 1009,90                        | 0,2           | 8                      |                   |                   |                   |            |                  |
| 95- 2, 60- 61 ; 1010,10                        | 0,08          | 8                      |                   |                   |                   |            |                  |
| 95- 2, 79- 80 ; 1010,29                        | 0,07          | 16                     |                   |                   |                   | 26.00      | 0.03             |
| 95- 2, 99- 100 ; 1010,49                       | 0,13          | 12                     |                   |                   |                   | 42.00      | 0.09             |
| 95- 2, 120- 121 ; 1010,70                      | 0,17          | 12                     |                   |                   |                   |            |                  |
| 95- 2, 138- 139 ; 1010,80                      | 0,05          | 12                     |                   |                   |                   | 54.00      | 0.27             |
| 95- 3, 40- 41 ; 1011,40                        | 0,07          | 12                     |                   |                   |                   |            |                  |
| 95- 3, 60- 61 ; 1011,61                        | 0,07          | 12                     |                   |                   |                   |            |                  |
| 95- 3, 81- 82 ; 1011,81                        | 0,06          | 12                     |                   |                   |                   |            |                  |
| 95- 3, 101- 102 ; 1012,01                      | 0,07          | 12                     |                   |                   |                   | 44.00      | 0.09             |
| 95- 3, 120- 121 ; 1012,20                      | 0,05          | 52                     |                   |                   |                   | 134.00     | 42.86            |
| 95- 3, 138- 139 ; 1012,38                      | 0,08          | 27                     |                   |                   |                   | 195.00     | 10.34            |
| 96- 1, 20- 21 ; 1017,20                        | 0,07          | 8                      |                   |                   |                   |            |                  |
| 96- 1, 40- 41 ; 1017,40                        | 0,07          | 12                     |                   |                   |                   |            |                  |
| 96- 1, 60- 61 ; 1017,60                        | 0,15          | 8                      |                   |                   |                   |            |                  |
| 96- 1, 79- 80 ; 1017,79                        | 0,09          | 8                      |                   |                   |                   |            |                  |
| 96- 1, 98- 99 ; 1017,98                        | 0,05          | 62                     | 57                | -11.35            | -8.11             | 188.00     | 27.27            |
| 96- 1, 120- 121 ; 1018,20                      | 0,07          | 24                     | 11                | -1.86             | -5.03             | 111.00     | 21.43            |
| 96- 1, 140- 141 ; 1018,40                      | 0,05          | 12                     | 1                 | -10.74            | -7.85             |            |                  |
| 97- 1, 20- 21 ; 1026,20                        | 0,19          | 68                     | 64                |                   |                   | 155.00     | 6.52             |
| 97- 1, 40- 41 ; 1026,40                        | 0,31          | 12                     | 0                 |                   |                   |            |                  |
| 97- 1, 60- 61 ; 1026,60                        | 0,12          | 12                     | 0                 |                   |                   |            |                  |
| 97- 1, 80- 81 ; 1026,80                        | 0,07          | 8                      | 0                 |                   |                   |            |                  |
| 97- 1, 100- 101 ; 1027,00                      | 9,76 (436/36) | 12                     | 0                 |                   |                   |            |                  |
| 97- 1, 120- 121 ; 1027,20                      | 9,1 (369/49)  | 12                     | 0                 |                   |                   |            |                  |
| 97- 1, 140- 141 ; 1027,40                      | 0,8           | 8                      | 0                 |                   |                   |            |                  |
| 97- 2, 20- 21 ; 1027,70                        | 0,99 (66/110) | 8                      | 1                 |                   |                   |            |                  |
| 97- 2, 40- 41 ; 1027,90                        | 15,6 (494/34) | 16                     | 0                 |                   |                   |            |                  |
| 97- 2, 60- 61 ; 1028,10                        | 15,8 (444/44) | 20                     | 5                 |                   |                   |            |                  |
| 97- 2, 80- 81 ; 1028,30                        | 16,8 (477/43) | 20                     | 5                 |                   |                   |            |                  |
| 97- 2, 100- 101 ; 1028,50                      | 0,26          | 12                     | 0                 |                   |                   |            |                  |
| 97- 2, 120- 121 ; 1028,70                      | 0,16          | 8                      | 0                 |                   |                   |            |                  |
| 97- 2, 124- 125 ; 1028,74                      |               |                        |                   |                   |                   |            |                  |
| 97- 2, 140- 141 ; 1028,90                      | 1,96 (49/55)  | 16                     | 0                 |                   |                   |            |                  |
| 97- 3, 20- 21 ; 1029,20                        | 5,76 (282/52) | 24                     | 5                 |                   |                   |            |                  |
| 97- 3, 40- 41 ; 1029,40                        | 0,23          | 12                     | 0                 |                   |                   |            |                  |
| 97- 3, 60- 61 ; 1029,60                        | 2,75 (62/57)  | 20                     | 5                 |                   |                   |            |                  |
| 97- 3, 80- 81 ; 1029,80                        | 0,24          | 12                     | 0                 |                   |                   |            |                  |
| 97- 4, 20- 21 ; 1030,70                        | 0,17          | 12                     | 0                 |                   |                   |            |                  |
| 97- 4, 40- 41 ; 1030,90                        | 7,1 (172/60)  | 28                     | 0                 |                   |                   |            |                  |
| 97- 4, 60- 61 ; 1031,10                        | 3,52 (213/50) | 20                     | 0                 |                   |                   |            |                  |
| 97- 4, 80- 81 ; 1031,30                        | 2,38          | 20                     | 0                 |                   |                   |            |                  |
| 97- 4, 100- 101 ; 1031,50                      | 2,58 (68/53)  | 20                     | 0                 |                   |                   |            |                  |
| 97- 4, 120- 121 ; 1031,70                      | 3,22          | 20                     | 0                 |                   |                   |            |                  |
| 97- 4, 134- 135 ; 1031,84                      | 4,46 (136/44) | 20                     | 0                 |                   |                   |            |                  |
| 97- cc. 20- 21 ; 1032,06                       | 3,91          | 20                     | 0                 |                   |                   |            |                  |
| 98- 1, 20- 21 ; 1035,20                        | 0,22          | 8                      | 0                 |                   |                   |            |                  |
| 98- 1, 40- 41 ; 1035,40                        | 0,66 (26/68)  | 12                     | 0                 |                   |                   |            |                  |
| 98- 1, 60- 61 ; 1035,60                        | 0,19          | 12                     | 0                 |                   |                   |            |                  |
| 98- 1, 80- 81 ; 1035,80                        | 0,74          | 20                     | 0                 |                   |                   |            |                  |
| 98- 1, 100- 101 ; 1036,00                      | 1,34 (37/63)  | 20                     | 0                 |                   |                   |            |                  |
| 98- 1, 120- 121 ; 1036,20                      | 2,49 (45/60)  | 20                     | 0                 |                   |                   |            |                  |
| 98- 1, 140- 141 ; 1036,40                      | 0,16          | 16                     | 0                 |                   |                   |            |                  |
| 98- 2, 20- 21 ; 1036,70                        | 2,59 (85/46)  | 16                     | 0                 |                   |                   |            |                  |
| 98- 2, 40- 41 ; 1036,90                        | 0,4           | 12                     | 0                 |                   |                   |            |                  |

| IDENTIFICAÇÃO DAS AMOSTRA E PROFUNDIDADES (m) | COT (IH/O)    | CaCO <sub>3</sub> (RI) | CaCO <sub>3</sub> | δ <sup>13</sup> C | δ <sup>18</sup> O | W.barnesae | Espécimes/campo |
|-----------------------------------------------|---------------|------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|------------|-----------------|
| 98-2, 60- 61 ; 1037,10                        | 0,13          | 12                     | 0                 |                   |                   |            |                 |
| 98-2, 80- 81 ; 1037,30                        | 1,33 (14/58)  | 16                     | 0                 |                   |                   |            |                 |
| 98-2, 100- 101 ; 1037,50                      | 7,75 (302/35) | 20                     | 0                 |                   |                   |            |                 |
| 98-2, 124- 125 ; 1037,74                      | 0,32          | 12                     | 0                 |                   |                   |            |                 |
| 98-2, 140- 141 ; 1037,90                      | 1,82 (23/57)  | 12                     | 0                 |                   |                   |            |                 |
| 98-3, 20- 21 ; 1038,20                        | 0,03          | 12                     | 0                 |                   |                   |            |                 |
| 98-3, 40- 41 ; 1038,40                        | 0,18          | 12                     | 0                 |                   |                   |            |                 |
| 98-3, 60- 61 ; 1038,60                        | 0,14          | 12                     | 0                 |                   |                   |            |                 |
| 98-3, 80- 81 ; 1038,80                        | 1,24 (16/57)  | 16                     | 0                 |                   |                   |            |                 |
| 98-3, 100- 101 ; 1039                         | 0,1           | 12                     | 0                 |                   |                   |            |                 |
| 98-3, 120- 121 ; 1039,20                      | 0,18          | 12                     | 0                 |                   |                   |            |                 |
| 98-3, 140- 141 ; 1039,40                      | 0,22          | 12                     | 0                 |                   |                   |            |                 |
| 98-4, 20- 21 ; 1039,70                        | 0,16          | 16                     | 0                 |                   |                   |            |                 |
| 98-4, 40- 41 ; 1039,90                        | 0,11          | 8                      | 0                 |                   |                   |            |                 |
| 99-1, 20- 21 ; 1044,20                        | 0,08          | 8                      | 0                 |                   |                   |            |                 |
| 99-1, 40- 41 ; 1044,40                        | 0,42          | 12                     | 0                 |                   |                   |            |                 |
| 99-1, 60- 61 ; 1044,60                        | 0,09          | 24                     | 5                 | -3.10             | -5.23             | 244.00     | 8.33            |
| 99-1, 80- 81 ; 1044,80                        | 0,12          | 12                     | 0                 |                   |                   |            |                 |
| 99-1, 99- 101 ; 1044,99                       | 0,07          | 12                     | 0                 |                   |                   |            |                 |
| 99-1, 120- 121 ; 1045,20                      | 0,1           | 12                     | 0                 |                   |                   |            |                 |
| 99-1, 140- 141 ; 1045,40                      | 0,1           | 8                      | 0                 |                   |                   |            |                 |
| 99-2, 22- 23 ; 1045,72                        | 0,07          | 20                     | 5                 | -2.92             | -5.08             | 218.00     | 9.68            |
| 99-2, 40- 41 ; 1045,90                        | 0,15          | 12                     | 5                 | -6.41             | -7.00             |            |                 |
| 99-2, 61- 62 ; 1046,11                        |               |                        |                   |                   |                   | 35.00      | 0.45            |
| 99-2, 80- 81 ; 1046,30                        | 0,45 (51/44)  | 12                     | 0                 |                   |                   |            |                 |
| 99-2, 101- 102 ; 1046,51                      | 0,1           | 8                      | 0                 |                   |                   |            |                 |
| 99-2, 120- 121 ; 1046,70                      | 0,07          | 16                     | 5                 | -6.22             | 0.58              |            |                 |
| 99-2, 140- 141 ; 1046,90                      | 0,13          | 12                     | 0                 |                   |                   |            |                 |
| 99-3, 20- 21 ; 1047,20                        | 0,09          | 24                     | 18                |                   |                   | 236.00     | 6.98            |
| 99-3, 40- 41 ; 1047,40                        | 0,57 (16/67)  | 8                      | 0                 |                   |                   |            |                 |
| 99-3, 60- 61 ; 1047,60                        | 0,12          | 12                     | 0                 |                   |                   |            |                 |
| 99-3, 80- 81 ; 1047,80                        | 0,14          | 20                     | 10                |                   |                   | 123.00     | 1.02            |
| 99-3, 100- 101 ; 1048,00                      | 0,23          | 12                     | 0                 |                   |                   |            |                 |
| 99-3, 120- 121 ; 1048,20                      | 0,23          | 48                     | 20                |                   |                   | 42.00      | 0.07            |
| 99-3, 140- 141 ; 1048,40                      | 0,11          | 8                      | 0                 |                   |                   |            |                 |
| 99-4, 20- 21 ; 1048,70                        | 0,1           | 16                     | 0                 |                   |                   |            |                 |
| 99-4, 40- 41 ; 1048,90                        | 0,09          | 16                     | 0                 |                   |                   |            |                 |
| 99-4, 60- 61 ; 1049,10                        | 0,2           | 8                      | 0                 |                   |                   |            |                 |
| 99-4, 80- 81 ; 1049,30                        | 0,08          | 8                      | 0                 |                   |                   |            |                 |
| 99-4, 100- 101 ; 1049,50                      | 0,09          | 16                     | 0                 |                   |                   |            |                 |
| 99-4, 120- 121 ; 1049,70                      | 0,12          | 12                     | 0                 |                   |                   |            |                 |
| 99-4, 140- 141 ; 1049,90                      | 0,09          | 12                     | 0                 |                   |                   |            |                 |
| 99-5, 82- 83 ; 1050,72                        | 0,11          | 12                     | 0                 |                   |                   |            |                 |
| 99-5, 102- 103 ; 1050,92                      | 0,1           | 12                     | 0                 |                   |                   |            |                 |
| 99-5, 122- 123 ; 1051,12                      | 0,11          | 12                     | 0                 |                   |                   |            |                 |
| 99-5, 135- 136 ; 1051,25                      | 2,91          | 20                     | 0                 |                   |                   |            |                 |
| 100-1, 19- 20 ; 1053,19                       | 0,07          | 16                     | 2                 | -0.61             | -4.87             | 26.00      | 0.03            |
| 100-1, 41- 42 ; 1053,41                       | 0,08          | 8                      |                   |                   |                   |            |                 |
| 100-1, 60- 61 ; 1053,60                       | 0,1           | 20                     | 6                 | 0.24              | -4.13             | 245.00     | 12.50           |
| 100-1, 80- 81 ; 1053,80                       | 0,12          | 12                     |                   |                   |                   |            |                 |
| 100-1, 100- 101 ; 1054,00                     | 1,17 (35/35)  | 12                     |                   |                   |                   |            |                 |
| 100-1, 121- 122 ; 1054,21                     | 0,07          | 12                     | 4                 | -1.44             | -5.00             | 52.00      | 0.62            |
| 100-1, 141- 142 ; 1054,41                     | 0,1           | 12                     |                   |                   |                   |            |                 |
| 100-2, 19- 20 ; 1054,69                       | 1,02 (61/106) | 20                     | 5                 | -4.26             | -8.06             | 208.00     | 5.45            |
| 100-2, 40- 41 ; 1054,90                       | 0,08          | 16                     | 5                 | -0.73             | -4.55             | 286.00     | 4.84            |
| 100-2, 60- 61 ; 1055,10                       | 0,08          | 12                     | 4                 | -0.50             | -4.03             | 207.00     | 1.84            |
| 100-2, 80- 81 ; 1055,30                       | 0,88 (27/55)  | 12                     |                   |                   |                   |            |                 |
| 100-2, 101- 102 ; 1055,51                     | 0,06          | 12                     | 3                 | 0.06              | -3.27             | 227.00     | 1.90            |
| 100-2, 118- 119 ; 1055,68                     | 0,08          | 20                     | 13                | -2.67             | -5.02             | 246.00     | 13.04           |
| 100-2, 140- 141 ; 1055,90                     | 1,22 (25/56)  | 12                     |                   |                   |                   |            |                 |
| 100-3, 18- 19 ; 1056,18                       | 0,11          | 8                      |                   |                   |                   |            |                 |
| 100-3, 40- 41 ; 1056,40                       | 0,1           | 28                     | 17                | -3.27             | -5.07             | 246.00     | 27.27           |
| 100-3, 60- 61 ; 1056,61                       | 0,08          | 24                     | 16                | -3.60             | -5.40             | 252.00     | 25.00           |
| 100-3, 80- 81 ; 1056,80                       | 0,07          | 12                     | 2                 | 0.61              | -3.31             | 75.00      | 0.22            |
| 100-3, 100- 101 ; 1057,00                     | 0,1           | 16                     | 8                 | -0.69             | -4.56             | 262.00     | 14.29           |
| 100-3, 119- 120 ; 1057,19                     | 0,14          | 12                     | 7                 | 0.07              | -4.12             | 251.00     | 6.25            |
| 100-3, 141- 142 ; 1057,41                     | 0,19          | 16                     | 5                 | 0.44              | -3.88             | 252.00     | 3.23            |
| 100-4, 20- 21 ; 1057,70                       | 0,06          | 20                     | 12                | -3.27             | -5.45             | 239.00     | 37.50           |
| 100-4, 39- 40 ; 1057,89                       | 0,1           | 8                      | 2                 | -7.48             | -9.88             |            |                 |
| 100-4, 60- 61 ; 1058,10                       | 0,14          | 8                      |                   |                   |                   |            |                 |
| 100-4, 80- 81 ; 1058,30                       | 0,08          | 24                     |                   |                   |                   | 216.00     | 20.00           |
| 100-4, 100- 101 ; 1058,50                     | 0,38          | 12                     |                   |                   |                   |            |                 |
| 100-4, 120- 121 ; 1058,70                     | 0,1           | 32                     | 30                | -4.45             | -5.69             | 170.00     | 60.00           |
| 100-4, 140- 141 ; 1058,90                     | 0,08          | 27                     | 18                | -0.56             | -4.30             | 222.00     | 25.00           |
| 100-5, 20- 21 ; 1059,20                       | 0,1           | 24                     | 10                |                   |                   | 274.00     | 13.64           |
| 100-5, 40- 41 ; 1059,40                       | 0,11          | 8                      |                   |                   |                   |            |                 |
| 100-5, 60- 61 ; 1059,60                       | 0,11          | 16                     | 18                | -1.63             | -3.41             | 237.00     | 12.50           |
| 101-1, 20- 21 ; 1062,20                       |               |                        |                   |                   |                   |            |                 |
| 101-1, 40- 41 ; 1062,40                       |               |                        |                   |                   |                   | 46.00      | 0.07            |
| 101-1, 60- 61 ; 1062,60                       |               |                        |                   |                   |                   | 285.00     | 3.19            |
| 101-1, 80- 81 ; 1062,80                       |               |                        |                   |                   |                   |            |                 |
| 101-1, 100- 101 ; 1063,00                     |               |                        |                   |                   |                   |            |                 |
| 101-1, 120- 121 ; 1063,20                     |               |                        |                   |                   |                   | 238.00     | 12.50           |
| 101-1, 140- 141 ; 1063,40                     |               |                        |                   |                   |                   | 57.00      | 0.13            |
| 101-2, 20- 21 ; 1063,70                       |               |                        |                   |                   |                   | 257.00     | 15.00           |
| 101-2, 40- 41 ; 1063,90                       |               |                        |                   |                   |                   | 279.00     | 18.75           |
| 101-2, 60- 61 ; 1064,10                       |               |                        |                   |                   |                   |            |                 |
| 101-2, 80- 81 ; 1064,30                       |               |                        |                   |                   |                   | 263.00     | 8.11            |
| 101-2, 100- 101 ; 1064,50                     |               |                        |                   |                   |                   | 263.00     | 3.70            |

| IDENTIFICAÇÃO DAS AMOSTRA E PROFUNDIDADES (m) | COT (H/O)    | CaCO <sub>3</sub> (RI) | CaCO <sub>3</sub> | δ <sup>13</sup> C | δ <sup>18</sup> O | W.barnesae | Espécimes/campo |
|-----------------------------------------------|--------------|------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|------------|-----------------|
| 101- 2, 120- 121 ; 1064,70                    |              |                        |                   |                   |                   | 280.00     | 3.19            |
| 101- 2, 140- 141 ; 1064,90                    |              |                        |                   |                   |                   |            | 0.00            |
| 101- 3, 20- 21 ; 1065,20                      |              |                        |                   |                   |                   | 273.00     | 4.11            |
| 101- 3, 40- 41 ; 1065,40                      |              |                        |                   |                   |                   | 213.00     | 1.63            |
| 101- 3, 60- 61 ; 1065,60                      |              |                        |                   |                   |                   | 11.00      | 0.00            |
| 101- 3, 80- 81 ; 1065,80                      |              |                        |                   |                   |                   | 267.00     | 7.89            |
| 101- 4, 20- 21 ; 1066,70                      |              |                        |                   |                   |                   |            |                 |
| 101- 4, 40- 41 ; 1066,90                      |              |                        |                   |                   |                   | 233.00     | 11.11           |
| 101- 4, 60- 61 ; 1067,10                      |              |                        |                   |                   |                   | 261.00     | 6.98            |
| 101- 4, 80- 81 ; 1067,30                      |              |                        |                   |                   |                   | 51.00      | 0.57            |
| 101- 4, 100- 101 ; 1067,50                    |              |                        |                   |                   |                   |            | 0.00            |
| 101- 4, 120- 121 ; 1067,70                    |              |                        |                   |                   |                   | 273.00     | 9.38            |
| 101- 4, 140- 141 ; 1067,90                    |              |                        |                   |                   |                   | 10.00      | 0.00            |
| 101- 5, 20- 21 ; 1068,20                      |              |                        |                   |                   |                   | 272.00     | 7.14            |
| 101- 5, 40- 41 ; 1068,40                      |              |                        |                   |                   |                   |            |                 |
| 101- 5, 60- 61 ; 1068,60                      |              |                        |                   |                   |                   | 293.00     | 3.09            |
| 101- 5, 80- 81 ; 1068,80                      |              |                        |                   |                   |                   |            |                 |
| 101- 5, 100- 101 ; 1069,00                    |              |                        |                   |                   |                   | 284.00     | 21.43           |
| 101- 5, 120- 121 ; 1069,20                    |              |                        |                   |                   |                   | 76.00      | 0.19            |
| 101- 5, 140- 141 ; 1069,40                    |              |                        |                   |                   |                   | 296.00     | 9.38            |
| 101- 6, 20- 21 ; 1069,70                      |              |                        |                   |                   |                   | 273.00     | 7.69            |
| 101- 6, 40- 41 ; 1069,90                      |              |                        |                   |                   |                   | 292.00     | 10.34           |
| 101- 6, 60- 61 ; 1070,10                      |              |                        |                   |                   |                   | 280.00     | 3.13            |
| 101- 6, 80- 81 ; 1070,30                      |              |                        |                   |                   |                   | 283.00     | 12.50           |
| 101- 6, 100- 101 ; 1070,50                    |              |                        |                   |                   |                   | 187.00     | 1.23            |
| 101- 6, 120- 121 ; 1070,70                    |              |                        |                   |                   |                   | 297.00     | 3.23            |
| 101- 6, 140- 141 ; 1070,90                    |              |                        |                   |                   |                   | 288.00     | 3.37            |
| 101- 6, 20- 21 ; 1071,20                      |              |                        |                   |                   |                   | 297.00     | 3.09            |
| 101- 7, 40- 41 ; 1071,40                      |              |                        |                   |                   |                   | 295.00     | 3.45            |
| 101- 7, 60- 61 ; 1071,60                      |              |                        |                   |                   |                   |            |                 |
| 101- 7, CC- CC; 1071,74                       |              |                        |                   |                   |                   | 289.00     | 4.48            |
| 102- 1, 18- 19 ; 1071,18                      | 0,08         | 32                     | 20                | -1.86             | -4.75             | 183.00     | 42.86           |
| 102- 1, 39- 40 ; 1071,39                      | 0,15         | 20                     | 11                | 0.52              | -3.94             | 202.00     | 14.29           |
| 102- 1, 59- 60 ; 1071,59                      | 0,09         | 20                     | 12                | 0.69              | -3.85             | 271.00     | 10.34           |
| 102- 1, 80- 81 ; 1071,80                      | 0,12         | 27                     | 14                | -0.22             | -3.95             | 246.00     | 12.50           |
| 102- 1, 100- 101 ; 1072,00                    | 0,14         | 27                     | 21                | -1.59             | -5.01             | 185.00     | 16.67           |
| 102- 1, 120- 121 ; 1072,20                    | 0,11         | 24                     | 16                | -1.22             | -5.09             | 227.00     | 20.00           |
| 102- 1, 139- 140 ; 1072,39                    | 0,21         | 32                     | 25                | -1.61             | -5.10             | 128.00     | 50.00           |
| 102- 2, 20- 21 ; 1072,70                      | 0,08         | 35                     | 26                | -1.77             | -4.88             | 192.00     | 33.33           |
| 102- 2, 40- 41 ; 1072,90                      | 0,09         | 20                     | 14                | -1.48             | -4.74             | 157.00     | 25.00           |
| 102- 2, 60- 61 ; 1073,10                      | 0,1          | 8                      | 1                 | -1.93             | -5.03             |            |                 |
| 102- 2, 79- 80 ; 1073,29                      | 0,07         | 39                     | 31                | -2.38             | -5.33             | 142.00     | 30.00           |
| 102- 2, 100- 101 ; 1073,50                    | 0,09         | 32                     | 23                | -2.54             | -5.24             | 174.00     | 20.00           |
| 102- 2, 120- 121 ; 1073,70                    | 0,09         | 16                     | 6                 | 0.80              | -3.94             | 264.00     | 4.62            |
| 102- 2, 141- 142 ; 1073,91                    | 0,1          | 24                     | 0                 | -1.33             | -4.92             | 235.00     | 13.64           |
| 102- 2, 20- 21 ; 1074,20                      | 0,08         | 36                     | 27                | -2.35             | -4.97             | 139.00     | 25.00           |
| 102- 3, 40- 41 ; 1074,40                      |              |                        |                   |                   |                   | 175.00     | 30.00           |
| 102- 3, 59- 60 ; 1074,59                      | 0,18         | 12                     | 2                 | 0.26              | -3.04             |            |                 |
| 102- 3, 80- 81 ; 1074,80                      | 0,12         | 39                     | 30                | -2.76             | -5.55             | 179.00     | 30.00           |
| 102- 3, 99- 100 ; 1074,99                     | 0,11         | 36                     | 27                | -2.21             | -5.22             | 169.00     | 37.50           |
| 102- 3, 122- 123 ; 1075,22                    | 0,97 (26/49) | 12                     | 0                 |                   |                   |            |                 |
| 102- 3, 139- 140 ; 1075,39                    | 0,09         | 32                     | 25                | -2.14             | -5.41             | 66.00      | 50.00           |
| 102- 4, 20- 21 ; 1075,70                      | 0,15         | 12                     | 0                 | 0.00              | 0.00              | 24.00      | 0.34            |
| 102- 4, 39- 40 ; 1075,99                      | 0,12         | 28                     | 19                | -1.76             | -5.08             | 241.00     | 42.86           |
| 102- 4, 60- 61 ; 1076,10                      | 0,1          | 20                     | 13                | -1.20             | -4.78             | 217.00     | 42.86           |
| 102- 4, 80- 81 ; 1076,30                      | 0,13         | 12                     | 0                 |                   |                   |            |                 |
| 102- 4, 101- 102 ; 1076,51                    | 0,09         | 32                     | 23                | -2.20             | -5.24             | 203.00     | 37.50           |
| 102- 4, 120- 121 ; 1076,70                    | 0,11         | 16                     | 9                 | -0.25             | -4.35             | 266.00     | 15.79           |
| 102- 4, 140- 141 ; 1076,90                    | 0,08         | 27                     | 15                | -2.69             | -5.61             | 148.00     | 30.00           |
| 102- 5, 20- 21 ; 1077,20                      | 0,1          | 20                     | 14                | -1.27             | -4.85             | 262.00     | 15.00           |
| 102- 5, 40- 41 ; 1077,40                      | 0,1          | 20                     | 12                | -1.75             | -5.24             | 226.00     | 23.08           |
| 102- 5, 60- 61 ; 1077,60                      | 0,1          | 24                     | 17                | -2.50             | -5.17             | 183.00     | 37.50           |
| 102- 5, 80- 81 ; 1077,80                      | 0,1          | 12                     | 2                 | -0.56             | -4.73             | 30.00      | 0.04            |
| 102- 5, 100- 101 ; 1078,00                    | 0,09         | 20                     | 16                | -2.98             | -5.60             | 239.00     | 60.00           |
| 102- 5, 120- 121 ; 1078,20                    | 0,1          | 20                     | 13                | -1.58             | -5.05             | 243.00     | 20.00           |
| 102- 5, 139- 140 ; 1078,39                    | 0,13         | 8                      | 0                 |                   |                   |            |                 |
| 102- 6, 21- 20 ; 1078,71                      | 0,11         | 8                      | 0                 |                   |                   |            |                 |
| 102- 6, 40- 41 ; 1078,90                      | 0,11         | 12                     | 3                 | 0.99              | -3.05             | 288.00     | 2.88            |

#### LEGENDA:

**IDENTIFICAÇÃO/PROFUNDIDADE** - número do testemunho, seção e intervalo de coleta. A profundidade é medida a partir do fundo oceânico.

**COT** - teor de C<sub>org</sub> medido em termos de porcentagem sobre o peso total da amostra; **H/O** - índice de hidrogênio e oxigênio.

**CaCO<sub>3</sub> (RI)** - porcentagem de carbonato de cálcio estimado a partir resíduo insolúvel.

**CaCO<sub>3</sub>** - porcentagem de carbonato de cálcio medido em calcímetro Fann ou calcímetro de coluna.

**δ<sup>13</sup>C** - razões isotópicas do carbono, no carbonato e em rocha total, comparativas ao padrão internacional PDB.

**δ<sup>18</sup>O** - razões isotópicas do oxigênio, no carbonato e em rocha total, comparativas ao padrão internacional PDB.

**W. barnesae** - número de exemplares da espécie *W. barnesae* correspondentes à contagem de 300 espécimes.

**Espécimes/campo** - número de espécimes por campo de visão do microscópio (aumento 1200 X).

ANEXO 7- Resultados das análises quantitativas de nanofósseis e tabela de distribuição bioestratigráfica do poço DSDP-530A.



| IDENTIFICAÇÃO DAS AMOSTRAS E PROFUNDIDADES                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | CRONOESTRATIGRAFIA | BIOZONAS | Número de espécimes por campo |  |  |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|----------|-------------------------------|--|--|
| 99-2-40-41: 1045,90<br>99-2-61-62: 1046,11<br>99-2-80-81: 1046,3<br>99-2-101-102: 1046,51<br>99-2-120-121: 1046,7<br>99-2-140-141: 1046,9<br>99-3-20-21: 1047,2<br>99-3-40-41: 1047,4<br>99-3-60-61: 1047,6<br>99-3-80-81: 1047,8<br>99-3-100-101: 1048<br>99-3-120-121: 1048,2<br>99-3-140-141: 1048,4<br>99-4-0-41: 1048,7<br>99-4-20-41: 1048,9<br>99-4-40-61: 1049,1<br>99-4-80-81: 1049,3<br>99-4-100-101: 1049,5<br>99-4-120-121: 1049,7<br>99-4-140-141: 1049,9<br>99-5-02-83: 1050,72<br>99-5-102-103: 1050,92<br>99-5-122-123: 1051,12<br>99-5-135-136: 1051,25<br>100-1-19-20: 1053,19<br>100-1-41-42: 1053,41<br>100-1-60-61: 1053,6<br>100-1-80-81: 1053,8<br>100-1-100-101: 1054,0<br>100-1-121-122: 1054,21<br>100-1-141-142: 1054,41<br>100-2-18-20: 1054,69<br>100-2-40-61: 1054,9<br>100-2-80-81: 1055,3<br>100-2-101-102: 1055,51<br>100-2-118-119: 1055,68<br>100-2-140-141: 1055,9<br>100-3-18-19: 1056,18<br>100-3-40-41: 1056,4<br>100-3-60-61: 1056,61<br>100-3-80-81: 1056,8<br>100-3-100-101: 1057<br>100-3-119-120: 1057,19<br>100-3-141-142: 1057,41<br>100-4-20-21: 1057,7<br>100-4-39-40: 1057,89<br>100-4-60-61: 1058,10<br>100-4-80-81: 1058,3<br>100-4-100-101: 1058,5<br>100-4-120-121: 1058,7<br>100-4-140-141: 1058,9<br>100-5-20-21: 1059,2<br>100-5-40-41: 1059,4<br>100-5-60-61: 1059,6<br>100-5-80-81: 1059,8<br>100-5-100-101: 1059,9<br>100-5-120-121: 1060,2<br>100-5-140-141: 1060,4<br>100-6-0-41: 1060,6<br>100-6-20-41: 1060,8<br>100-6-40-61: 1061,0<br>100-6-60-81: 1061,2<br>100-6-80-81: 1061,4<br>100-6-100-101: 1061,6<br>100-6-120-121: 1061,8<br>100-6-140-141: 1062,0<br>100-7-0-41: 1062,2<br>100-7-20-41: 1062,4<br>100-7-40-61: 1062,6<br>100-7-60-81: 1062,8<br>100-7-80-81: 1063,0<br>100-7-100-101: 1063,2<br>100-7-120-121: 1063,4<br>100-7-140-141: 1063,6<br>100-8-0-41: 1063,8<br>100-8-20-41: 1064,0<br>100-8-40-61: 1064,2<br>100-8-60-81: 1064,4<br>100-8-80-81: 1064,6<br>100-8-100-101: 1064,8<br>100-8-120-121: 1065,0<br>100-8-140-141: 1065,2<br>100-9-0-41: 1065,4<br>100-9-20-41: 1065,6<br>100-9-40-61: 1065,8<br>100-9-60-81: 1066,0<br>100-9-80-81: 1066,2<br>100-9-100-101: 1066,4<br>100-9-120-121: 1066,6<br>100-9-140-141: 1066,8<br>100-10-0-41: 1067,0<br>100-10-20-41: 1067,2<br>100-10-40-61: 1067,4<br>100-10-60-81: 1067,6<br>100-10-80-81: 1067,8<br>100-10-100-101: 1068,0<br>100-10-120-121: 1068,2<br>100-10-140-141: 1068,4<br>100-11-0-41: 1068,6<br>100-11-20-41: 1068,8<br>100-11-40-61: 1069,0<br>100-11-60-81: 1069,2<br>100-11-80-81: 1069,4<br>100-11-100-101: 1069,6<br>100-11-120-121: 1069,8<br>100-11-140-141: 1070,0<br>100-12-0-41: 1070,2<br>100-12-20-41: 1070,4<br>100-12-40-61: 1070,6<br>100-12-60-81: 1070,8<br>100-12-80-81: 1071,0<br>100-12-100-101: 1071,2<br>100-12-120-121: 1071,4<br>100-12-140-141: 1071,6<br>100-13-0-41: 1071,8<br>100-13-20-41: 1072,0<br>100-13-40-61: 1072,2<br>100-13-60-81: 1072,4<br>100-13-80-81: 1072,6<br>100-13-100-101: 1072,8<br>100-13-120-121: 1073,0<br>100-13-140-141: 1073,2<br>100-14-0-41: 1073,4<br>100-14-20-41: 1073,6<br>100-14-40-61: 1073,8<br>100-14-60-81: 1074,0<br>100-14-80-81: 1074,2<br>100-14-100-101: 1074,4<br>100-14-120-121: 1074,6<br>100-14-140-141: 1074,8<br>100-15-0-41: 1075,0<br>100-15-20-41: 1075,2<br>100-15-40-61: 1075,4<br>100-15-60-81: 1075,6<br>100-15-80-81: 1075,8<br>100-15-100-101: 1076,0<br>100-15-120-121: 1076,2<br>100-15-140-141: 1076,4<br>100-16-0-41: 1076,6<br>100-16-20-41: 1076,8<br>100-16-40-61: 1077,0<br>100-16-60-81: 1077,2<br>100-16-80-81: 1077,4<br>100-16-100-101: 1077,6<br>100-16-120-121: 1077,8<br>100-16-140-141: 1078,0<br>100-17-0-41: 1078,2<br>100-17-20-41: 1078,4<br>100-17-40-61: 1078,6<br>100-17-60-81: 1078,8<br>100-17-80-81: 1079,0<br>100-17-100-101: 1079,2<br>100-17-120-121: 1079,4<br>100-17-140-141: 1079,6<br>100-18-0-41: 1079,8<br>100-18-20-41: 1080,0<br>100-18-40-61: 1080,2<br>100-18-60-81: 1080,4<br>100-18-80-81: 1080,6<br>100-18-100-101: 1080,8<br>100-18-120-121: 1081,0<br>100-18-140-141: 1081,2<br>100-19-0-41: 1081,4<br>100-19-20-41: 1081,6<br>100-19-40-61: 1081,8<br>100-19-60-81: 1082,0<br>100-19-80-81: 1082,2<br>100-19-100-101: 1082,4<br>100-19-120-121: 1082,6<br>100-19-140-141: 1082,8<br>100-20-0-41: 1083,0<br>100-20-20-41: 1083,2<br>100-20-40-61: 1083,4<br>100-20-60-81: 1083,6<br>100-20-80-81: 1083,8<br>100-20-100-101: 1084,0<br>100-20-120-121: 1084,2<br>100-20-140-141: 1084,4<br>100-21-0-41: 1084,6<br>100-21-20-41: 1084,8<br>100-21-40-61: 1085,0<br>100-21-60-81: 1085,2<br>100-21-80-81: 1085,4<br>100-21-100-101: 1085,6<br>100-21-120-121: 1085,8<br>100-21-140-141: 1086,0<br>100-22-0-41: 1086,2<br>100-22-20-41: 1086,4<br>100-22-40-61: 1086,6<br>100-22-60-81: 1086,8<br>100-22-80-81: 1087,0<br>100-22-100-101: 1087,2<br>100-22-120-121: 1087,4<br>100-22-140-141: 1087,6<br>100-23-0-41: 1087,8<br>100-23-20-41: 1088,0<br>100-23-40-61: 1088,2<br>100-23-60-81: 1088,4<br>100-23-80-81: 1088,6<br>100-23-100-101: 1088,8<br>100-23-120-121: 1089,0<br>100-23-140-141: 1089,2<br>100-24-0-41: 1089,4<br>100-24-20-41: 1089,6<br>100-24-40-61: 1089,8<br>100-24-60-81: 1090,0<br>100-24-80-81: 1090,2<br>100-24-100-101: 1090,4<br>100-24-120-121: 1090,6<br>100-24-140-141: 1090,8<br>100-25-0-41: 1091,0<br>100-25-20-41: 1091,2<br>100-25-40-61: 1091,4<br>100-25-60-81: 1091,6<br>100-25-80-81: 1091,8<br>100-25-100-101: 1092,0<br>100-25-120-121: 1092,2<br>100-25-140-141: 1092,4<br>100-26-0-41: 1092,6<br>100-26-20-41: 1092,8<br>100-26-40-61: 1093,0<br>100-26-60-81: 1093,2<br>100-26-80-81: 1093,4<br>100-26-100-101: 1093,6<br>100-26-120-121: 1093,8<br>100-26-140-141: 1094,0<br>100-27-0-41: 1094,2<br>100-27-20-41: 1094,4<br>100-27-40-61: 1094,6<br>100-27-60-81: 1094,8<br>100-27-80-81: 1095,0<br>100-27-100-101: 1095,2<br>100-27-120-121: 1095,4<br>100-27-140-141: 1095,6<br>100-28-0-41: 1095,8<br>100-28-20-41: 1096,0<br>100-28-40-61: 1096,2<br>100-28-60-81: 1096,4<br>100-28-80-81: 1096,6<br>100-28-100-101: 1096,8<br>100-28-120-121: 1097,0<br>100-28-140-141: 1097,2<br>100-29-0-41: 1097,4<br>100-29-20-41: 1097,6<br>100-29-40-61: 1097,8<br>100-29-60-81: 1098,0<br>100-29-80-81: 1098,2<br>100-29-100-101: 1098,4<br>100-29-120-121: 1098,6<br>100-29-140-141: 1098,8<br>100-30-0-41: 1099,0<br>100-30-20-41: 1099,2<br>100-30-40-61: 1099,4<br>100-30-60-81: 1099,6<br>100-30-80-81: 1099,8<br>100-30-100-101: 1100,0<br>100-30-120-121: 1100,2<br>100-30-140-141: 1100,4<br>100-31-0-41: 1100,6<br>100-31-20-41: 1100,8<br>100-31-40-61: 1101,0<br>100-31-60-81: 1101,2<br>100-31-80-81: 1101,4<br>100-31-100-101: 1101,6<br>100-31-120-121: 1101,8<br>100-31-140-141: 1102,0<br>100-32-0-41: 1102,2<br>100-32-20-41: 1102,4<br>100-32-40-61: 1102,6<br>100-32-60-81: 1102,8<br>100-32-80-81: 1103,0<br>100-32-100-101: 1103,2<br>100-32-120-121: 1103,4<br>100-32-140-141: 1103,6<br>100-33-0-41: 1103,8<br>100-33-20-41: 1104,0<br>100-33-40-61: 1104,2<br>100-33-60-81: 1104,4<br>100-33-80-81: 1104,6<br>100-33-100-101: 1104,8<br>100-33-120-121: 1105,0<br>100-33-140-141: 1105,2<br>100-34-0-41: 1105,4<br>100-34-20-41: 1105,6<br>100-34-40-61: 1105,8<br>100-34-60-81: 1106,0<br>100-34-80-81: 1106,2<br>100-34-100-101: 1106,4<br>100-34-120-121: 1106,6<br>100-34-140-141: 1106,8<br>100-35-0-41: 1107,0<br>100-35-20-41: 1107,2<br>100-35-40-61: 1107,4<br>100-35-60-81: 1107,6<br>100-35-80-81: 1107,8<br>100-35-100-101: 1108,0<br>100-35-120-121: 1108,2<br>100-35-140-141: 1108,4<br>100-36-0-41: 1108,6<br>100-36-20-41: 1108,8<br>100-36-40-61: 1109,0<br>100-36-60-81: 1109,2<br>100-36-80-81: 1109,4<br>100-36-100-101: 1109,6<br>100-36-120-121: 1109,8<br>100-36-140-141: 1110,0<br>100-37-0-41: 1110,2<br>100-37-20-41: 1110,4<br>100-37-40-61: 1110,6<br>100-37-60-81: 1110,8<br>100-37-80-81: 1111,0<br>100-37-100-101: 1111,2<br>100-37-120-121: 1111,4<br>100-37-140-141: 1111,6<br>100-38-0-41: 1111,8<br>100-38-20-41: 1112,0<br>100-38-40-61: 1112,2<br>100-38-60-81: 1112,4<br>100-38-80-81: 1112,6<br>100-38-100-101: 1112,8<br>100-38-120-121: 1113,0<br>100-38-140-141: 1113,2<br>100-39-0-41: 1113,4<br>100-39-20-41: 1113,6<br>100-39-40-61: 1113,8<br>100-39-60-81: 1114,0<br>100-39-80-81: 1114,2<br>100-39-100-101: 1114,4<br>100-39-120-121: 1114,6<br>100-39-140-141: 1114,8<br>100-40-0-41: 1115,0<br>100-40-20-41: 1115,2<br>100-40-40-61: 1115,4<br>100-40-60-81: 1115,6<br>100-40-80-81: 1115,8<br>100-40-100-101: 1116,0<br>100-40-120-121: 1116,2<br>100-40-140-141: 1116,4<br>100-41-0-41: 1116,6<br>100-41-20-41: 1116,8<br>100-41-40-61: 1117,0<br>100-41-60-81: 1117,2<br>100-41-80-81: 1117,4<br>100-41-100-101: 1117,6<br>100-41-120-121: 1117,8<br>100-41-140-141: 1118,0<br>100-42-0-41: 1118,2<br>100-42-20-41: 1118,4<br>100-42-40-61: 1118,6<br>100-42-60-81: 1118,8<br>100-42-80-81: 1119,0<br>100-42-100-101: 1119,2<br>100-42-120-121: 1119,4<br>100-42-140-141: 1119,6<br>100-43-0-41: 1119,8<br>100-43-20-41: 1120,0<br>100-43-40-61: 1120,2<br>100-43-60-81: 1120,4<br>100-43-80-81: 1120,6<br>100-43-100-101: 1120,8<br>100-43-120-121: 1121,0<br>100-43-140-141: 1121,2<br>100-44-0-41: 1121,4<br>100-44-20-41: 1121,6<br>100-44-40-61: 1121,8<br>100-44-60-81: 1122,0<br>100-44-80-81: 1122,2<br>100-44-100-101: 1122,4<br>100-44-120-121: 1122,6<br>100-44-140-141: 1122,8<br>100-45-0-41: 1123,0<br>100-45-20-41: 1123,2<br>100-45-40-61: 1123,4<br>100-45-60-81: 1123,6<br>100-45-80-81: 1123,8<br>100-45-100-101: 1124,0<br>100-45-120-121: 1124,2<br>100-45-140-141: 1124,4<br>100-46-0-41: 1124,6<br>100-46-20-41: 1124,8<br>100-46-40-61: 1125,0<br>100-46-60-81: 1125,2<br>100-46-80-81: 1125,4<br>100-46-100-101: 1125,6<br>100-46-120-121: 1125,8<br>100-46-140-141: 1126,0<br>100-47-0-41: 1126,2<br>100-47-20-41: 1126,4<br>100-47-40-61: 1126,6<br>100-47-60-81: 1126,8<br>100-47-80-81: 1127,0<br>100-47-100-101: 1127,2<br>100-47-120-121: 1127,4<br>100-47-140-141: 1127,6<br>100-48-0-41: 1127,8<br>100-48-20-41: 1128,0<br>100-48-40-61: 1128,2<br>100-48-60-81: 1128,4<br>100-48-80-81: 1128,6<br>100-48-100-101: 1128,8<br>100-48-120-121: 1129,0<br>100-48-140-141: 1129,2<br>100-49-0-41: 1129,4<br>100-49-20-41: 1129,6<br>100-49-40-61: 1129,8<br>100-49-60-81: 1130,0<br>100-49-80-81: 1130,2<br>100-49-100-101: 1130,4<br>100-49-120-121: 1130,6<br>100-49-140-141: 1130,8<br>100-50-0-41: 1131,0<br>100-50-20-41: 1131,2<br>100-50-40-61: 1131,4<br>100-50-60-81: 1131,6<br>100-50-80-81: 1131,8<br>100-50-100-101: 1132,0<br>100-50-120-121: 1132,2<br>100-50-140-141: 1132,4<br>100-51-0-41: 1132,6<br>100-51-20-41: 1132,8<br>100-51-40-61: 1133,0<br>100-51-60-81: 1133,2<br>100-51-80-81: 1133,4<br>100-51-100-101: 1133,6<br>100-51-120-121: 1133,8<br>100-51-140-141: 1134,0<br>100-52-0-41: 1134,2<br>100-52-20-41: 1134,4<br>100-52-40-61: 1134,6<br>100-52-60-81: 1134,8<br>100-52-80-81: 1135,0<br>100-52-100-101: 1135,2<br>100-52-120-121: 1135,4<br>100-52-140-141: 1135,6<br>100-53-0-41: 1135,8<br>100-53-20-41: 1136,0<br>100-53-40-61: 1136,2<br>100-53-60-81: 1136,4<br>100-53-80-81: 1136,6<br>100-53-100-101: 1136,8<br>100-53-120-121: 1137,0<br>100-53-140-141: 1137,2<br>100-54-0-41: 1137,4<br>100-54-20-41: 1137,6<br>100-54-40-61: 1137,8<br>100-54-60-81: 1138,0<br>100-54-80-81: 1138,2<br>100-54-100-101: 1138,4<br>100-54-120-121: 1138,6<br>100-54-140-141: 1138,8<br>100-55-0-41: 1139,0<br>100-55-20-41: 1139,2<br>100-55-40-61: 1139,4<br>100-55-60-81: 1139,6<br>100-55-80-81: 1139,8<br>100-55-100-101: 1140,0<br>100-55-120-121: 1140,2<br>100-55-140-141: 1140,4<br>100-56-0-41: 1140,6<br>100-56-20-41: 1140,8<br>100-56-40-61: 1141,0<br>100-56-60-81: 1141,2<br>100-56-80-81: 1141,4<br>100-56-100-101: 1141,6<br>100-56-120-121: 1141,8<br>100-56-140-141: 1142,0<br>100-57-0-41: 1142,2<br>100-57-20-41: 1142,4<br>100-57-40-61: 1142,6<br>100-57-60-81: 1142,8<br>100-57-80-81: 1143,0<br>100-57-100-101: 1143,2<br>100-57-120-121: 1143,4<br>100-57-140-141: 1143,6<br>100-58-0-41: 1143,8<br>100-58-20-41: 1144,0<br>100-58-40-61: 1144,2<br>100-58-60-81: 1144,4<br>100-58-80-81: 1144,6<br>100-58-100-101: 1144,8<br>100-58-120-121: 1145,0<br>100-58-140-141: 1145,2<br>100-59-0-41: 1145,4<br>100-59-20-41: 1145,6<br>100-59-40-61: 1145,8<br>100-59-60-81: 1146,0<br>100-59-80-81: 1146,2<br>100-59-100-101: 1146,4<br>100-59-120-121: 1146,6<br>100-59-140-141: 1146,8<br>100-60-0-41: 1147,0<br>100-60-20-41: 1147,2<br>100-60-40-61: 1147,4<br>100-60-60-81: 1147,6<br>100-60-80-81: 1147,8<br>100-60-100-101: 1148,0<br>100-60-120-121: 1148,2<br>100-60-140-141: 1148,4<br>100-61-0-41: 1148,6<br>100-61-20-41: 1148,8<br>100-61-40-61: 1149,0<br>100-61-60-81: 1149,2<br>100-61-80-81: 1149,4<br>100-61-100-101: 1149,6<br>100-61-120-121: 1149,8<br>100-61-140-141: 1150,0<br>100-62-0-41: 1150,2<br>100-62-20-41: 1150,4<br>100-62-40-61: 1150,6<br>100-62-60-81: 1150,8<br>100-62-80-81: 1151,0<br>100-62-100-101: 1151,2<br>100-62-120-121: 1151,4<br>100-62-140-141: 1151,6<br>100-63-0-41: 1151,8<br>100-63-20-41: 1152,0<br>100-63-40-61: 1152,2<br>100-63-60-81: 1152,4<br>100-63-80-81: 1152,6<br>100-63-100-101: 1152,8<br>100-63-120-121: 1153,0<br>100-63-140-141: 1153,2<br>100-64-0-41: 1153,4<br>100-64-20-41: 1153,6<br>100-64-40-61: 1153,8<br>100-64-60-81: 1154,0<br>100-64-80-81: 1154,2<br>100-64-100-101: 1154,4<br>100-64-120-121: 1154,6<br>100-64-140-141: 1154,8<br>100-65-0-41: 1155,0<br>100-65-20-41: 1155,2<br>100-65-40-61: 1155,4<br>100-65-60-81: 1155,6<br>100-65-80-81: 1155,8<br>100-65-100-101: 1156,0<br>100-65-120-121: 1156,2<br>100-65-140-141: 1156,4<br>100-66-0-41: 1156,6<br>100-66-20-41: 1156,8<br>100-66-40-61: 1157,0<br>100-66-60-81: 1157,2<br>100-66-80-81: 1157,4<br>100-66-100-101: 1157,6<br>100-66-120-121: 1157,8<br>100-66-140-141: 1158,0<br>10 |                    |          |                               |  |  |



| PROFUNDIDADE | COT (IH/O)     | CaCO <sub>3</sub> (RI) | CaCO <sub>3</sub> | δ <sup>13</sup> C MO | δ <sup>13</sup> C | δ <sup>18</sup> O | W. barnesae | E. eptapetalus | Índice Shannon-Weaver | Espécimes/campo |
|--------------|----------------|------------------------|-------------------|----------------------|-------------------|-------------------|-------------|----------------|-----------------------|-----------------|
| 2970,0       | 0,32           |                        |                   |                      |                   |                   |             |                |                       |                 |
| 2973,0       | 0,49           |                        |                   |                      |                   |                   |             |                |                       |                 |
| 2976,0       | 0,72           |                        |                   |                      |                   |                   |             |                |                       |                 |
| 2979,0       | 0,54           |                        |                   |                      |                   |                   |             |                |                       |                 |
| 2982,0       | 0,6            |                        |                   |                      |                   |                   |             |                |                       |                 |
| 2988,0       | 0,56           |                        |                   |                      |                   |                   |             |                |                       |                 |
| 2991,0       | 0,54           |                        |                   |                      |                   |                   |             |                |                       |                 |
| 2994,0       | 0,51           |                        |                   |                      |                   |                   |             |                |                       |                 |
| 2997,0       | 0,45           |                        |                   |                      |                   |                   |             |                |                       |                 |
| 3006,0       | 0,65           |                        |                   |                      |                   |                   |             |                |                       |                 |
| 3012,0       | 0,56           |                        |                   |                      |                   |                   |             |                |                       |                 |
| 3015,0       | 0,54           |                        |                   |                      |                   |                   |             |                |                       |                 |
| 3018,0       | 0,54           |                        |                   |                      |                   |                   |             |                |                       |                 |
| 3021,0       | 0,47           |                        |                   |                      |                   |                   |             |                |                       |                 |
| 3024,0       | 0,45           |                        |                   |                      |                   |                   |             |                |                       |                 |
| 3027,0       | 0,53           |                        |                   |                      |                   |                   |             |                |                       |                 |
| 3030,0       | 0,49           |                        |                   |                      |                   |                   |             |                |                       |                 |
| 3033,0       | 0,58           |                        |                   |                      |                   |                   |             |                |                       |                 |
| 3036,0       | 0,55           |                        |                   |                      |                   |                   |             |                |                       |                 |
| 3039,0       | 0,54           |                        |                   |                      |                   |                   |             |                |                       |                 |
| 3042,0       | 0,85           |                        |                   |                      |                   |                   |             |                |                       |                 |
| 3045,0       | 0,81           |                        |                   |                      |                   |                   |             |                |                       |                 |
| 3048,0       | 0,9            |                        |                   |                      |                   |                   |             |                |                       |                 |
| 3051,0       | 1,01           |                        |                   |                      |                   |                   |             |                |                       |                 |
| 3054,0       | 1,06           |                        |                   |                      |                   |                   |             |                |                       |                 |
| 3057,0       | 0,94           |                        |                   |                      |                   |                   |             |                |                       |                 |
| 3060,0       | 0,95           |                        |                   |                      |                   |                   |             |                |                       |                 |
| 3063,0       | 1,44 (168/135) |                        |                   |                      |                   |                   |             |                |                       |                 |
| 3066,0       | 1,3            |                        |                   |                      |                   |                   |             |                |                       |                 |
| 3069,0       | 1,22           |                        |                   |                      |                   |                   |             |                |                       |                 |
| 3072,0       | 0,55           |                        |                   |                      |                   |                   |             |                |                       |                 |
| 3075,0       | 0,74           |                        |                   |                      |                   |                   |             |                |                       |                 |
| 3090,0       | 0,69           |                        |                   |                      |                   |                   |             |                |                       |                 |
| 3099,0       | 0,65 (85/335)  |                        |                   |                      |                   |                   |             |                |                       |                 |
| 3108,0       | 0,69           |                        |                   |                      |                   |                   |             |                |                       |                 |
| 3117,0       | 0,65           |                        |                   |                      |                   |                   |             |                |                       |                 |
| 3126,0       | 0,72           |                        |                   |                      |                   |                   |             |                |                       |                 |
| 3135,0       | 0,99           |                        |                   |                      |                   |                   |             |                |                       |                 |
| 3144,0       | 0,92           |                        |                   |                      |                   |                   |             |                |                       |                 |
| 3153,0       | 1,01           |                        |                   |                      |                   |                   |             |                |                       |                 |
| 3162,0       | 0,84           |                        |                   |                      |                   |                   |             |                |                       |                 |
| 3171,0       | 1(161/202)     |                        |                   |                      |                   |                   |             |                |                       |                 |
| 3180,0       | 0,99           |                        |                   |                      |                   |                   |             |                |                       |                 |
| 3189,0       | 1,09           |                        |                   |                      |                   |                   |             |                |                       |                 |
| 3198,0       | 1,14           |                        |                   |                      |                   |                   |             |                |                       |                 |
| 3207,0       | 1,02           |                        |                   |                      |                   |                   |             |                |                       |                 |
| 3216,0       | 1,01           |                        |                   |                      |                   |                   |             |                |                       |                 |
| 3225,0       | 1,35           |                        |                   |                      |                   |                   |             |                |                       |                 |
| 3234,0       | 0,9            |                        |                   |                      |                   |                   |             |                |                       |                 |
| 3243,0       | 1,12           |                        |                   |                      |                   |                   |             |                |                       |                 |
| 3252,0       | 0,94 (197/265) |                        |                   |                      |                   |                   |             |                |                       |                 |
| 3261,0       | 1,16 (228/225) |                        |                   |                      |                   |                   |             |                |                       |                 |
| 3270,0       | 1,05           |                        |                   |                      |                   |                   |             |                |                       |                 |
| 3279,0       | 1,05 (205/208) |                        |                   |                      |                   |                   |             |                |                       |                 |
| 3288,0       | 0,95 (236/192) |                        |                   |                      |                   |                   |             |                |                       |                 |
| 3297,0       | 1,45 (302/148) |                        |                   |                      |                   |                   |             |                |                       |                 |
| 3306,0       | 1,5 (297/163)  |                        |                   |                      |                   |                   |             |                |                       |                 |
| 3309,0       | 1,98 (340/36)  | 24                     | 5                 | -28,19               | -4,86             | -6,12             | 27          | 1              | 0,90                  | 0,36            |
| 3309,1       | 1,67           |                        |                   |                      |                   |                   |             |                |                       |                 |
| 3309,3       | 1,78 (289/41)  | 24                     | 6,5               |                      | -4,28             | -5,47             | 53          | 17             | 1,44                  | 0,89            |
| 3309,6       | 1,46           | 24                     | 10                |                      | -5,25             | -5,72             | 120         | 10             | 2,39                  | 3,34            |
| 3309,9       | 1,44 (248/44)  | 35                     | 15                |                      | -3,38             | -5,95             | 84          | 4              | 1,89                  | 1,57            |
| 3310,2       | 1,24           | 27                     | 7                 |                      | -1,84             | -6,72             | 68          | 9              | 1,79                  | 1,21            |
| 3310,5       | 1,35 (221/48)  | 27                     | 7                 |                      | -1,69             | -6,21             | 44          | 4              | 1,32                  | 0,65            |
| 3310,6       | 1,01 (283/37)  | 22                     | 7                 |                      | -2,22             | -6,26             |             |                |                       |                 |
| 3310,8       | 1,27           | 24                     | 6                 |                      | -1,75             | -6,86             | 161         | 7              | 1,91                  | 3,54            |
| 3311,1       | 1,19 (199/54)  | 24                     | 7                 |                      | -1,93             | -6,08             | 39          | 11             | 0,17                  | 0,76            |
| 3311,4       | 1,27 (216/48)  | 28                     | 7                 |                      |                   |                   | 92          | 5              | 1,69                  | 1,47            |
| 3311,5       | 1,13           |                        |                   |                      |                   |                   |             |                |                       |                 |
| 3311,7       | 1,13 (190/52)  | 28                     | 7                 |                      | -1,92             | -6,14             | 85          | 3              | 1,91                  | 1,4             |
| 3312,0       | 1,38           | 27                     | 9                 |                      | -5,38             | -5,42             | 86          | 5              | 0,12                  | 1,2             |
| 3312,3       | 1,23           | 27                     | 9                 |                      | -1,98             | -5,97             | 134         | 10             | 1,71                  | 2,15            |
| 3312,6       | 1,41 (201/45)  | 27                     | 8,5               |                      | -1,41             | -5,97             | 155         | 9              | 1,77                  | 2,54            |
| 3312,9       | 1,33 (195/28)  | 24                     | 7,5               |                      | -1,33             | -6,09             | 107         | 49             | 1,90                  | 2,41            |
| 3313,2       | 1,29 (252/53)  | 32                     | 21,5              |                      | -1,05             | -6,17             | 57          | 11             | 0,30                  | 6,46            |
| 3313,5       | 1,28 (163/15)  | 24                     | 7                 |                      | -1,07             | -6,1              | 72          | 11             | 2,92                  | 6,55            |
| 3313,8       | 1,43 (213/54)  | 24                     | 7,5               |                      | -1,19             | -5,98             | 67          | 31             | 2,38                  | 1,88            |
| 3314,1       | 1,34 (125/4)   | 20                     | 7                 |                      | -1,82             | -5,77             | 101         | 68             | 2,04                  | 5,35            |
| 3314,4       | 1,63 (243/42)  | 27                     | 8                 |                      |                   |                   | 144         | 32             | 1,92                  | 4,57            |
| 3314,7       | 1,46           | 28                     | 10                | -25,24               | -5,93             | -5,18             | 157         | 19             | 1,93                  | 4,46            |
| 3315,0       | 1,33 (258/255) | 31                     | 13                | -26,91               | -1,49             | -6,03             | 145         | 14             | 2,24                  | 3,29            |
| 3315,0       | 1,59           |                        |                   |                      |                   |                   | 235         |                | 1,15                  | 3,12            |
| 3315,3       | 2,91 (398/26)  | 20                     | 9                 | -28                  | -4,52             | -5,64             | 245         |                | 1,00                  | 3,84            |
| 3315,6       | 2,93 (435/30)  | 27                     | 6                 |                      | -2,71             | -6,7              | 124         | 2              | 0,40                  | 1,34            |
| 3315,9       | 2,54 (404/33)  | 27                     | 10,5              |                      | -2,96             | -5,9              | 132         | 1              | 1,58                  | 2,24            |
| 3316,2       | 1,8            | 24                     | 8,5               |                      | -1,82             | -6,16             | 126         | 26             | 2,32                  | 4,22            |
| 3316,5       | 1,57           | 31                     | 13                |                      | -2,1              | -6,08             | 154         | 27             | 1,84                  | 4,01            |
| 3316,8       | 1,65 (239/55)  | 28                     | 11                |                      | -1,75             | -6,16             |             | 35             |                       |                 |
| 3317,0       | 1,37 (514/34)  |                        |                   |                      |                   |                   |             |                |                       |                 |
| 3317,1       | 1,49 (213/46)  | 32                     | 10,5              |                      | -1,59             | -6,03             | 139         | 22             | 2,13                  | 5,08            |
| 3317,4       | 1,6            | 31                     | 11                |                      | -1,52             | -6,26             | 159         | 31             | 1,89                  | 4,30            |
| 3317,7       | 1,34 (188/50)  | 27                     | 9                 |                      | -1,36             | -6,13             | 128         | 19             | 2,24                  | 5,12            |
| 3317,9       | 0,81 (219/40)  | 34                     | 9                 |                      |                   |                   |             |                |                       |                 |
| 3318,0       | 2,08           | 31                     | 10                |                      | -1,19             | -6,51             | 127         | 1              | 1,19                  | 1,65            |
| 3318,2       | 1,65 (202/38)  | 31                     | 10                |                      | -1,43             | -6,36             |             |                |                       |                 |
| 3318,3       | 1,56           | 31                     | 8                 |                      | -1,47             | -6,4              | 42          | 3              | 1,68                  | 0,68            |
| 3318,6       | 1,66(302/44)   | 32                     | 18                | -28,55               | -1,51             | -6,57             | 174         | 2              | 1,88                  | 4,05            |
| 3318,7       | 1,62 (219/30)  | 35                     | 17                |                      | -1,72             | -7,01             |             |                |                       |                 |
| 3318,9       | 1,96 (335/35)  | 27                     | 12                |                      | -2,78             | -6,87             | 100         | 4              | 1,73                  | 1,62            |
| 3319,2       | 1,87 (338/25)  | 31                     | 15                |                      | -2,65             | -6,77             | 90          | 12             | 1,66                  | 1,57            |
| 3319,5       | 1,74 (378/25)  | 31                     | 11                | -29,03               | -3,72             | -6,34             | 83          | 15             | 0,22                  | 1,92            |
| 3319,8       | 1,68 (282/41)  | 52                     | 13                |                      | -1,79             | -6,86             | 176         | 8              | 1,55                  | 4,05            |
| 3320,1       | 1,63 (239/39)  | 35                     | 10                |                      | -1,13             | -6,76             | 145         | 29             | 1,98                  | 3,18            |
| 3320,4       | 1,44 (208/49)  | 35                     | 15                | -28,42               | -1,95             | -6,37             | 149         | 22             | 0,20                  | 3,79            |
| 3320,7       | 2,08 (338/38)  | 32                     | 12                |                      |                   |                   | 190         | 11             | 1,51                  | 2,74            |

| PROFUNDIDADE | COT (IH/O)     | CaCO <sub>3</sub> (RI) | CaCO <sub>3</sub> | δ <sup>13</sup> C MO | δ <sup>13</sup> C | δ <sup>18</sup> O | <i>W. barnesae</i> | <i>E. eptapetalus</i> | Índice Shannon-Weaver | Espécimes/campo |
|--------------|----------------|------------------------|-------------------|----------------------|-------------------|-------------------|--------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------|
| 3320,8       | 2,37           |                        |                   |                      |                   |                   |                    |                       |                       |                 |
| 3321,0       | 2,4            | 39                     | 21                |                      | -2,05             | -6,26             | 234                | 5                     | 1,10                  | 3,94            |
| 3321,3       | 1,8 (311/37)   | 35                     | 14                |                      | -1,52             | -6,48             | 216                | 1                     | 1,34                  | 4,54            |
| 3321,6       | 2,05 (318/36)  | 35                     | 16                |                      | -1,71             | -6,15             | 209                | 2                     | 1,40                  | 5,26            |
| 3321,8       | 1,61 (335/14)  | 29                     | 16                |                      | -2,45             | -6,61             |                    |                       |                       |                 |
| 3321,9       | 1,44           | 40                     | 22                |                      | -1,39             | -6,23             | 102                | 10                    | 0,19                  | 2,07            |
| 3322,2       | 1,44 (247/55)  | 28                     | 13,5              |                      | -1,06             | -6,38             | 175                | 2                     | 1,57                  | 2,8             |
| 3322,5       | 1,24 (255/23)  | 28                     | 11                |                      | -0,8              | -6,17             | 110                | 8                     | 1,51                  | 1,63            |
| 3322,8       | 1,23 (193/65)  | 28                     | 12,5              | -28,3                | -2,2              | -6,73             | 188                | 4                     | 0,16                  | 4,00            |
| 3323,1       | 1,73           | 32                     | 11                |                      | -2,89             | -6,39             | 80                 | 7                     | 1,28                  | 1,74            |
| 3323,4       | 1,85 (290/47)  | 32                     | 12                |                      | -4,22             | -6,13             | 137                | 4                     | 1,52                  | 2,17            |
| 3323,7       | 1,67           | 36                     | 17,5              |                      |                   |                   | 129                | 5                     | 2,22                  | 5,55            |
| 3323,9       | 1,46           |                        |                   |                      |                   |                   |                    |                       |                       |                 |
| 3324,0       | 1,31           |                        |                   | -28,93               |                   |                   |                    |                       |                       |                 |
| 3324,0       | 1,68 (240/278) | 35                     | 14,5              |                      | -2,68             | -6,57             | 120                | 12                    | 1,93                  | 2,34            |
| 3324,1       | 1,43 (279/31)  | 30                     | 14,5              |                      | -2,83             | -6,41             |                    |                       |                       |                 |
| 3324,3       | 1,62 (251/54)  | 32                     | 16                |                      | -1,54             | -7,22             | 159                | 6                     | 1,95                  | 4,68            |
| 3324,6       | 1,28 (488/21)  | 28                     | 9,5               |                      | -1,63             | -6,58             | 171                | 13                    | 1,90                  | 4,46            |
| 3324,9       | 1,49 (217/57)  |                        |                   |                      |                   |                   | 155                | 24                    | 1,96                  | 4,05            |
| 3325,2       | 1,46           | 28                     | 6,5               |                      | -1,39             | -6,51             | 142                | 49                    | 1,85                  | 3,48            |
| 3325,5       | 1,83 (314/44)  | 31                     | 15                |                      | -1,06             | -5,81             | 137                | 19                    | 2,16                  | 4,85            |
| 3325,6       | 1,44           | 31                     | 15                |                      |                   |                   |                    |                       |                       |                 |
| 3325,8       | 1,29 (231/63)  | 32                     | 12                |                      | -1,17             | -6,74             | 73                 | 6                     | 1,99                  | 1,89            |
| 3326,1       | 1,29           | 28                     | 11,5              |                      | -1,27             | -6,81             | 83                 | 4                     | 0,02                  | 1,81            |
| 3326,4       | 1,29 (236/63)  | 36                     | 20,5              |                      | -1,29             | -6,85             | 126                | 8                     | 1,82                  | 2,12            |
| 3326,7       | 1,7 (276/46)   | 31                     | 11                |                      | -1,28             | -6,8              | 68                 | 3                     | 1,42                  | 1,27            |
| 3326,9       | 1,34 (224/59)  | 28                     | 11,5              |                      | -1,48             | -7,06             | 84                 | 8                     | 1,80                  | 1,7             |
| 3333,0       | 1,65(84/533)   |                        |                   |                      |                   |                   |                    |                       |                       |                 |
| 3342,0       | 1,05 (114/415) |                        |                   |                      |                   |                   |                    |                       |                       |                 |
| 3351,0       | 1(104/403)     |                        |                   |                      |                   |                   |                    |                       |                       |                 |
| 3360,0       | 1,3            |                        |                   |                      |                   |                   |                    |                       |                       |                 |
| 3369,0       | 1,3            |                        |                   |                      |                   |                   |                    |                       |                       |                 |
| 3378,0       | 1,1            |                        |                   |                      |                   |                   |                    |                       |                       |                 |
| 3387,0       | 0,88           |                        |                   |                      |                   |                   |                    |                       |                       |                 |
| 3396,0       | 0,72           |                        |                   |                      |                   |                   |                    |                       |                       |                 |
| 3405,0       | 0,68 (93/363)  |                        |                   |                      |                   |                   |                    |                       |                       |                 |
| 3414,0       | 0,65           |                        |                   |                      |                   |                   |                    |                       |                       |                 |
| 3423,0       | 0,65           |                        |                   |                      |                   |                   |                    |                       |                       |                 |
| 3432,0       | 1,2            |                        |                   |                      |                   |                   |                    |                       |                       |                 |
| 3441,0       | 0,66           |                        |                   |                      |                   |                   |                    |                       |                       |                 |
| 3450,0       | 0,76           |                        |                   |                      |                   |                   |                    |                       |                       |                 |
| 3459,0       | 0,76           |                        |                   |                      |                   |                   |                    |                       |                       |                 |
| 3468,0       | 1,08           |                        |                   |                      |                   |                   |                    |                       |                       |                 |
| 3477,0       | 0,92 (124/377) |                        |                   |                      |                   |                   |                    |                       |                       |                 |
| 3486,0       | 0,59           |                        |                   |                      |                   |                   |                    |                       |                       |                 |
| 3495,0       | 0,91           |                        |                   |                      |                   |                   |                    |                       |                       |                 |
| 3504,0       | 1,07           |                        |                   |                      |                   |                   |                    |                       |                       |                 |
| 3507,0       | 0,99           |                        |                   |                      |                   |                   |                    |                       |                       |                 |
| 3510,0       | 0,98           |                        |                   |                      |                   |                   |                    |                       |                       |                 |
| 3513,0       | 1,14           |                        |                   |                      |                   |                   |                    |                       |                       |                 |
| 3516,0       | 1,1            |                        |                   |                      |                   |                   |                    |                       |                       |                 |
| 3519,0       | 1,01           |                        |                   |                      |                   |                   |                    |                       |                       |                 |
| 3522,0       | 1,2            |                        |                   |                      |                   |                   |                    |                       |                       |                 |
| 3525,0       | 1,05           |                        |                   |                      |                   |                   |                    |                       |                       |                 |
| 3528,0       | 0,97           |                        |                   |                      |                   |                   |                    |                       |                       |                 |
| 3531,0       | 1,05           |                        |                   |                      |                   |                   |                    |                       |                       |                 |
| 3534,0       | 0,87           |                        |                   |                      |                   |                   |                    |                       |                       |                 |
| 3537,0       | 0,96           |                        |                   |                      |                   |                   |                    |                       |                       |                 |
| 3540,0       | 0,92           |                        |                   |                      |                   |                   |                    |                       |                       |                 |
| 3543,0       | 0,78           |                        |                   |                      |                   |                   |                    |                       |                       |                 |
| 3546,0       | 0,61           |                        |                   |                      |                   |                   |                    |                       |                       |                 |
| 3549,0       | 0,72           |                        |                   |                      |                   |                   |                    |                       |                       |                 |
| 3552,0       | 0,79           |                        |                   |                      |                   |                   |                    |                       |                       |                 |

#### LEGENDA:

**IDENTIFICAÇÃO/PROFUNDIDADE** - número do testemunho, da seção e do intervalo de coleta. A profundidade é medida a partir do fundo oceânico.

**COT** - Porcentagem de C<sub>org</sub> medido em relação ao peso total da amostra; **IH/O** - índice de hidrogênio e oxigênio.

**CaCO<sub>3</sub> (RI)** - porcentagem de carbonato de cálcio estimado a partir resíduo insolúvel.

**CaCO<sub>3</sub>** - porcentagem de carbonato de cálcio medido em calcímetro Fann ou calcímetro de coluna.

**δ<sup>13</sup>C MO** - razões isotópicas do carbono, no extrato orgânico da rocha total, comparativas ao padrão internacional PDB.

**δ<sup>13</sup>C** - razões isotópicas do carbono, no carbonato e em rocha total, comparativas ao padrão internacional PDB.

**δ<sup>18</sup>O** - razões isotópicas do oxigênio, no carbonato e em rocha total, comparativas ao padrão internacional PDB.

***W. barnesae*** - número de exemplares da espécie *W. barnesae* correspondentes à contagem de 300 espécimes.

***E. eptapetalus*** - número de exemplares da espécie *E. eptapetalus* correspondentes à contagem de 300 espécimes.

**Índice de Shannon-Weaver** -

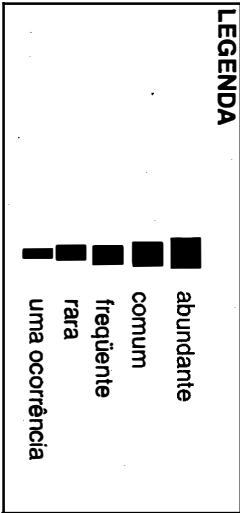
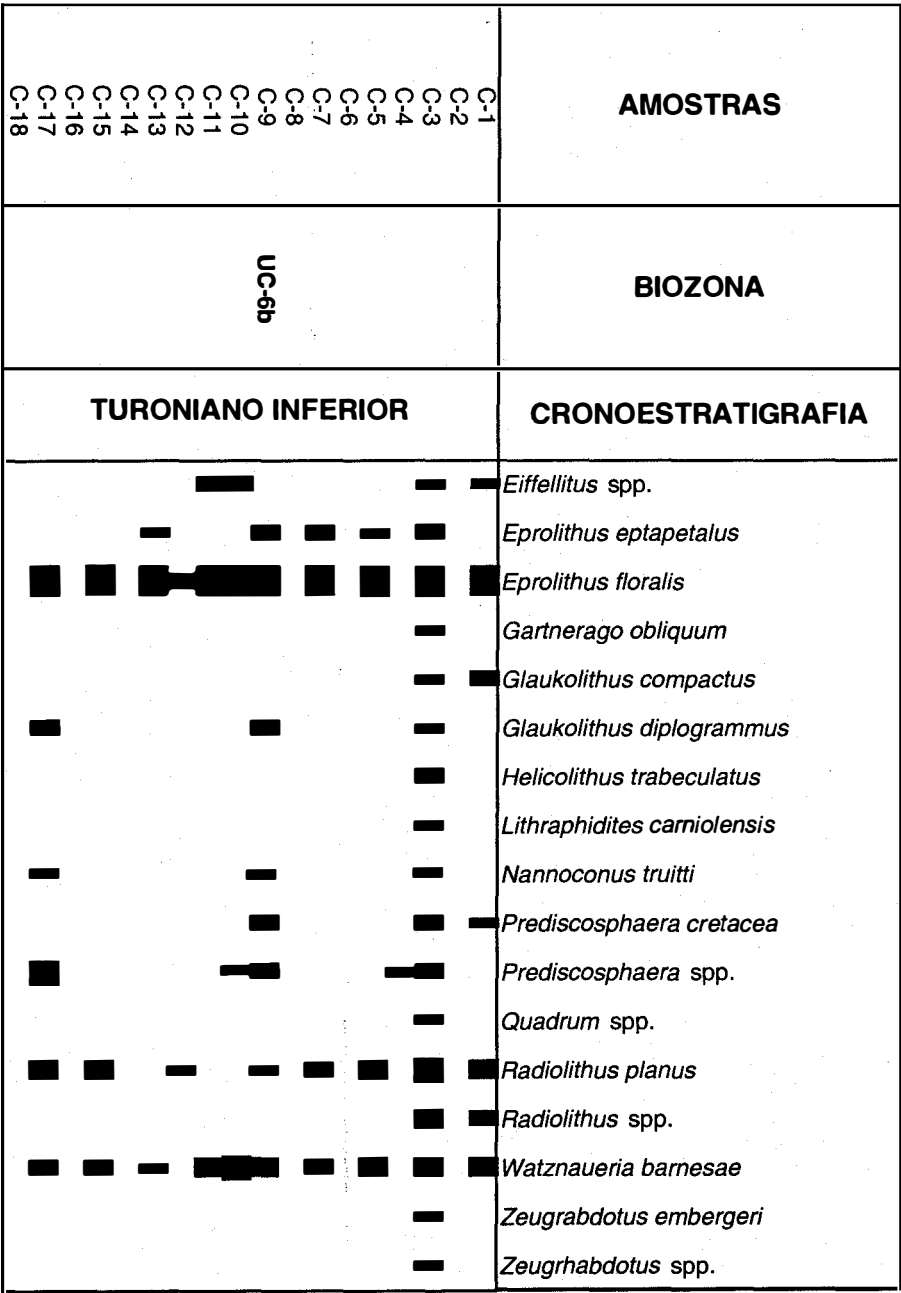
$$H(s) = - \sum_{i=1}^s P_i \ln P_i \quad \text{Onde, } s \text{ é o número de espécies e } P_i \text{ é a proporção de cada espécie.}$$

**Espécimes/campo** - número de espécimes por campo de visão no microscópio (aumento 1200 X).

**Obs.:** As amostras entre 3309,0 e 3326,9 metros são de testemunho, as demais são amostras de calha.

| PROFUNDIDADES | CRONOESTRATIGRAFIA | BIOZONA (Burnett, 1998) | Número de especies por campo | Índice de Shannon-Weaver |                                  |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|---------------|--------------------|-------------------------|------------------------------|--------------------------|----------------------------------|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| 2865-2880     | MAASTRICHTIANO     | ?                       |                              |                          | <i>Alveolaria octodonta</i>      |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 3024.0        | CONIACIANO         | UC - 10                 |                              |                          | <i>Biscutum constans</i>         |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 3042.0        |                    |                         |                              |                          | <i>Braconidaphera</i> spp.       |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 3069.0        |                    |                         |                              |                          | <i>Bronsonia</i> spp.            |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 3096.0        |                    |                         |                              |                          | <i>Chastoyus</i> lateralis       |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 3114.0        |                    |                         |                              |                          | <i>Chastoyus</i> spp.            |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 3123.0        |                    |                         |                              |                          | <i>Conolithon signum</i>         |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 3150.0        |                    |                         |                              |                          | <i>Conolithon signum</i>         |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 3177.0        |                    |                         |                              |                          | <i>Cretanabodus conicus</i>      |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 3204.0        |                    |                         |                              |                          | <i>Cretanabodus ehrenbergi</i>   |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 3213.0        |                    |                         |                              |                          | <i>Discorabodus</i> spp.         |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 3237.0        | CONIACIANO         | UC - 9                  |                              |                          | <i>Effellitus eximius</i>        |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 3249.0        |                    |                         |                              |                          | <i>Effellitus turisellii</i>     |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 3258.0        |                    |                         |                              |                          | <i>Effellitus</i> spp.           |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 3267.0        |                    |                         |                              |                          | <i>Epolithus epipetatus</i>      |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 3276.0        |                    |                         |                              |                          | <i>Epolithus floralis</i>        |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 3285.0        |                    |                         |                              |                          | <i>Epolithus octopetatus</i>     |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 3294.0        |                    |                         |                              |                          | <i>Epolithus</i> spp.            |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 3303.0        |                    |                         |                              |                          | <i>Garrerago nanum</i>           |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 3309.0        |                    |                         |                              |                          | <i>Garrerago obliquum</i>        |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 3309.3        |                    |                         |                              |                          | <i>Glaukolithus compactus</i>    |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 3309.6        | CONIACIANO         | UC - 9                  |                              |                          | <i>Glaukolithus diplogrammus</i> |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 3309.9        |                    |                         |                              |                          | <i>Hagis circumradialis</i>      |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 3310.2        |                    |                         |                              |                          | <i>Helicolithus trabeculatus</i> |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 3310.5        |                    |                         |                              |                          | <i>Holocollis</i>                |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 3310.8        |                    |                         |                              |                          | <i>Kampfenius magnificus</i>     |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 3311.1        |                    |                         |                              |                          | <i>Lithastrius moratus</i>       |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 3311.4        |                    |                         |                              |                          | <i>Lithastrius</i> spp.          |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 3311.7        |                    |                         |                              |                          | <i>Lucianorhabdus maleformis</i> |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 3312.0        |                    |                         |                              |                          | <i>Lucianorhabdus</i> spp.       |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 3312.3        |                    |                         |                              |                          | <i>Manivella pennabidea</i>      |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 3312.6        | CONIACIANO         | UC - 9                  |                              |                          | <i>Marthasterites furcatus</i>   |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 3312.9        |                    |                         |                              |                          | <i>Microtrabodulus decoratus</i> |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 3313.2        |                    |                         |                              |                          | <i>Micula decussata</i>          |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 3313.5        |                    |                         |                              |                          | <i>Nannoconus</i> spp.           |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 3313.8        |                    |                         |                              |                          | <i>Nannoconus trullii</i>        |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 3314.1        |                    |                         |                              |                          | <i>Orastrum paritum</i>          |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 3314.4        |                    |                         |                              |                          | <i>Orastrum</i> spp.             |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 3314.7        |                    |                         |                              |                          | <i>Owenia hilli</i>              |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 3315.0        |                    |                         |                              |                          | <i>Plicozygus fibuliformis</i>   |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 3315.3        |                    |                         |                              |                          | <i>Predicospira columnata</i>    |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 3315.6        | CONIACIANO         | UC - 9                  |                              |                          | <i>Predicospira cretacea</i>     |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 3315.9        |                    |                         |                              |                          | <i>Predicospira</i> spp.         |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 3316.2        |                    |                         |                              |                          | <i>Quadrum eptabrachium</i>      |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 3316.5        |                    |                         |                              |                          | <i>Quadrum garthi</i>            |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 3316.8        |                    |                         |                              |                          | <i>Quadrum</i> spp.              |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 3317.1        |                    |                         |                              |                          | <i>Radolites plenius</i>         |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 3317.4        |                    |                         |                              |                          | <i>Radolites</i> spp.            |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 3317.7        |                    |                         |                              |                          | <i>Radolites undosus</i>         |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 3318.0        |                    |                         |                              |                          | <i>Reichardites</i> spp.         |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 3318.3        |                    |                         |                              |                          | <i>Rhagodiscus achyrostauron</i> |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 3318.6        | CONIACIANO         | UC - 9                  |                              |                          | <i>Rhagodiscus splendens</i>     |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 3318.9        |                    |                         |                              |                          | <i>Rhagodiscus angustus</i>      |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 3319.2        |                    |                         |                              |                          | <i>Rhagodiscus asper</i>         |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 3319.5        |                    |                         |                              |                          | <i>Stenelia</i> spp.             |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 3319.8        |                    |                         |                              |                          | <i>Tegumentum stradhieri</i>     |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 3320.1        |                    |                         |                              |                          | <i>Tranolithus gabalus</i>       |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 3320.4        |                    |                         |                              |                          | <i>Tranolithus orionatus</i>     | </ |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |





**ANEXO 10** - Resultados das análises semi-quantitativas de nanofósseis e distribuição bioestratigráfica da Pedreira Votorantim.

ANEXO 11 - Resultados das análises qualitativas de nanofósseis e distribuição bioestratigráfica do poço SE-1.

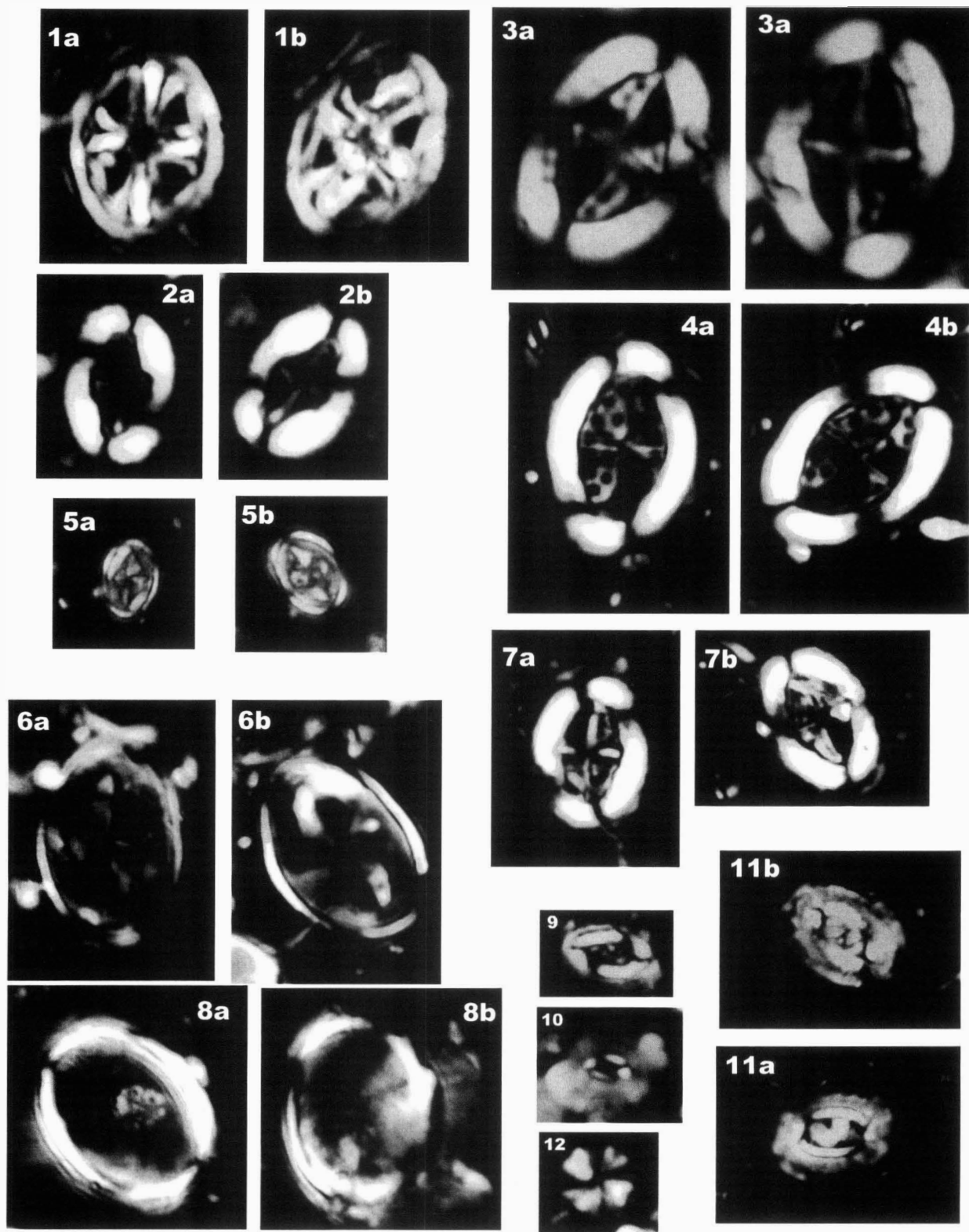
| PROFUNDIDADES | CRONOESTRATIGRAFIA       |         | BIOZONA                             |
|---------------|--------------------------|---------|-------------------------------------|
| 138,0         | Santoniano               | UC - 10 | <i>Braarudosphaera africana</i>     |
| 138,6         |                          | UC - 9  | <i>Braarudosphaera</i> spp.         |
| 162,2         |                          |         | <i>Broinsonia</i> spp.              |
| 184,2         |                          | UC - 8  | <i>Chiastozygus</i> spp.            |
| 206,1         |                          |         | <i>Cylindralithus</i> spp.          |
| 206,9         |                          |         | <i>Discorhabdulus</i> spp.          |
| 228,1         |                          |         | <i>Eiffellithus eximius</i>         |
| 250,15        |                          |         | <i>Eiffellithus turreiseiffelii</i> |
| 250,8         |                          |         | <i>Eiffellithus</i> spp.            |
| 270,1         |                          |         | <i>Eprolithus eptapetalus</i>       |
| 290,3         |                          |         | <i>Eprolithus floralis</i>          |
| 314,1         |                          |         | <i>Glaukolithus compactus</i>       |
| 335,1         |                          |         | <i>Glaukolithus diplogrammus</i>    |
| 357,3         |                          |         | <i>Helicolithus trabeculatus</i>    |
| 400,1         |                          |         | <i>Lithastrinus moratus</i>         |
| 400,5         |                          |         | <i>Lithastrinus</i> spp.            |
| 421,1         |                          |         | <i>Manivitella pemmatoidea</i>      |
| 421,5         | TURONIANO MÉDIO-SUPERIOR | UC - 7  | <i>Microrhabdulus decoratus</i>     |
| 443,2         |                          |         | <i>Nannoconus</i> spp.              |
| 485,2         |                          |         | <i>Nannoconus truitii</i>           |
| 487,3         |                          |         | <i>Placozygus fibuliformis</i>      |
| 509,8         |                          |         | <i>Prediscosphaera columnata</i>    |
| 531,2         |                          |         | <i>Prediscosphaera cretacea</i>     |
| 554,1         |                          |         | <i>Prediscosphaera</i> spp.         |
| 575,5         |                          |         | <i>Quadrum gartneri</i>             |
| 597,2         |                          |         | <i>Quadrum</i> spp.                 |
| 619,1         |                          |         | <i>Radiolithus planus</i>           |
| 642,1         | TURONIANO INFERIOR       | UC - 6  | <i>Radiolithus</i> spp.             |
| 693,1         |                          |         | <i>Stradneria crenulata</i>         |
| 726,0         |                          |         | <i>Tranolithus orionatus</i>        |
| 790,8         |                          |         | <i>Vagalapilla matalosa</i>         |
| 849,9         | Cenomaniano superior     | UC - 5  | <i>Watznaueria barnesae</i>         |
|               |                          |         | <i>Zeugrabdodus embergeri</i>       |
|               | ALBIANO                  | ?       |                                     |

| PROFUNDIDADE | CRONOESTRATIGRAFIA       | BIOZONAS  |                              |
|--------------|--------------------------|-----------|------------------------------|
| 210          | CAMPANIANO               | ?         | Ahmullerella octoradiata     |
| 300          |                          |           | Broinsonia parca constricta  |
| 360          |                          |           | Cribrosphaerella ehrenbergii |
| 420          |                          |           | Eiffellithus eximius         |
| 480          |                          |           | Eiffellithus turrisseiffelii |
| 510          |                          |           | Eiffellithus spp.            |
| 570          |                          |           | Eprolithus floralis          |
| 690          |                          |           | Eprolithus spp.              |
| 750          |                          |           | Gartnerago obliquum          |
| 930          |                          |           | Gartnerago spp.              |
| 1110         | Turoniano MEDIO SUPERIOR | UC-9      | Helicolithus trabeculatus    |
| 1230         |                          |           | Lithastrinus moratus         |
| 1350         |                          |           | Lithastrinus spp.            |
| 1410         |                          |           | Lucianorhabdus maleformis    |
| 294.3        | Turoniano INFERIOR       | UC-8<br>/ | Manivitella pemmatoidea      |
| 400.3        |                          |           | Microrhabdulus decoratus     |
| 402.2        |                          |           | Micula decussata             |
| 522.8        |                          |           | Nannoconus spp.              |
|              | CENOMANIANO INF.         | ?         | Nannoconus truitii           |
|              |                          |           | Placozygus fibuliformis      |
|              |                          |           | Prediscosphaera columnata    |
|              |                          |           | Prediscosphaera cretacea     |
|              |                          |           | Prediscosphaera spp.         |
|              |                          |           | Quadrum eptabrachium         |
|              |                          |           | Quadrum gartneri             |
|              |                          |           | Quadrum spp.                 |
|              |                          |           | Radiolithus planus           |
|              |                          |           | Reinhardtites spp.           |
|              |                          |           | Rhagodiscus spp.             |
|              |                          |           | Stoverius achylosus          |
|              |                          |           | Tranolithus gabalus          |
|              |                          |           | Tranolithus orionatus        |
|              |                          |           | Vagalapilla matalosa         |
|              |                          |           | Watznaueria bamesae          |
|              |                          |           | Watznaueria biporta          |
|              |                          |           | Zeugraddotus embergeri       |

ANEXO 12 - Resultados das análises qualitativas de nanofósseis e distribuição bioestratigráfica do poço SE-2.

# **ANEXO 13**

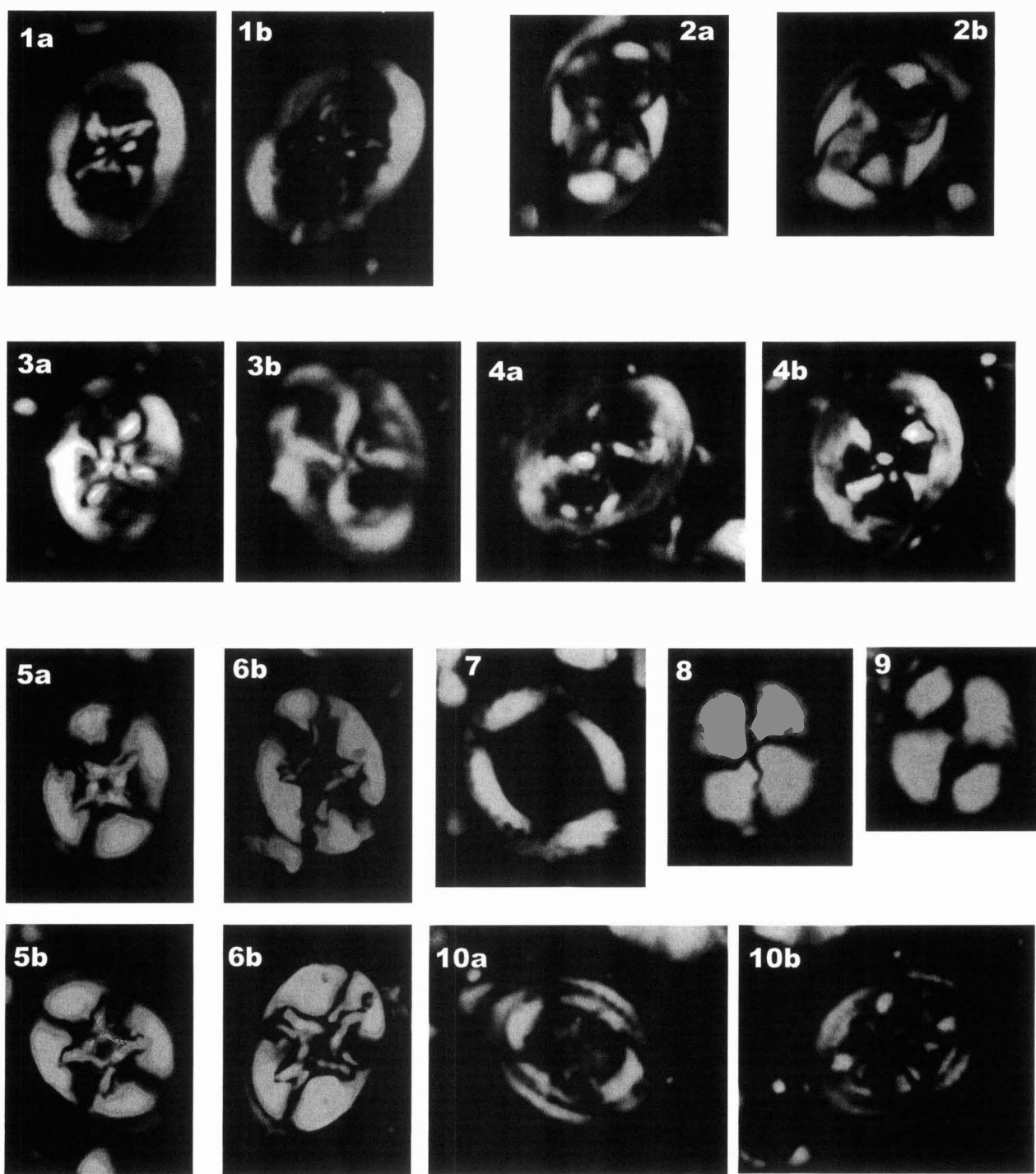
## **(estampas 1-9)**



## ESTAMPA 1 (Fotos em microscópio ótico)

1. *Ahmullerella octoradiata*; LP=90° (a) e 45° (b) - eixo maior 9  $\mu$ m - DSDP-511 (366,2 m). 2. *Vagalapilla matalosa*; LP=90° (a) e 45° (b) - eixo maior 5  $\mu$ m - DSDP-511 (366,2 m). 3. *Thiersteinia ecclesiastica*; LP=90° (a) e 45° (b) - eixo maior 10  $\mu$ m - DSDP-511 (396,5 m). 4. *Broinsonia parca expansa*; LP=90° (a) e 45° (b) - eixo maior 9  $\mu$ m - DSDP-511 (366,2 m). 5. *Gartnerago nanum*; LP=90° (a) e 45° (b) - eixo maior 5  $\mu$ m - SA-1 (3447 m). 6. *Gartnerago obliquum*; LP=90° (a) e 45° (b) - eixo maior 7  $\mu$ m - DSDP-364 (645 m). 7. *Broinsonia* sp.; LP=90° (a) e 45° (b) - eixo maior 4  $\mu$ m - DSDP-511 (366,2 m). 8. *Kamptnerius magnificus*; LP=90° (a) e 45° (b) - eixo maior 10  $\mu$ m - DSDP-511 (396,99 m). 9. *Biscutum constans*; LP - eixo maior 3  $\mu$ m - DSDP-511 (430,89 m). 10. *Biscutum* aff. *B. dissimilis*; LP - eixo maior 5  $\mu$ m - DSDP-511 (430,89 m). 11. *Seribiscutum primitivum*; LP=90° (a) e 45° (b) - eixo maior 7  $\mu$ m - DSDP-511 (394,90 m). 12. *Discorhabdus ignotus*; LP - diâmetro 3  $\mu$ m - DSDP-364 (708,5 m).





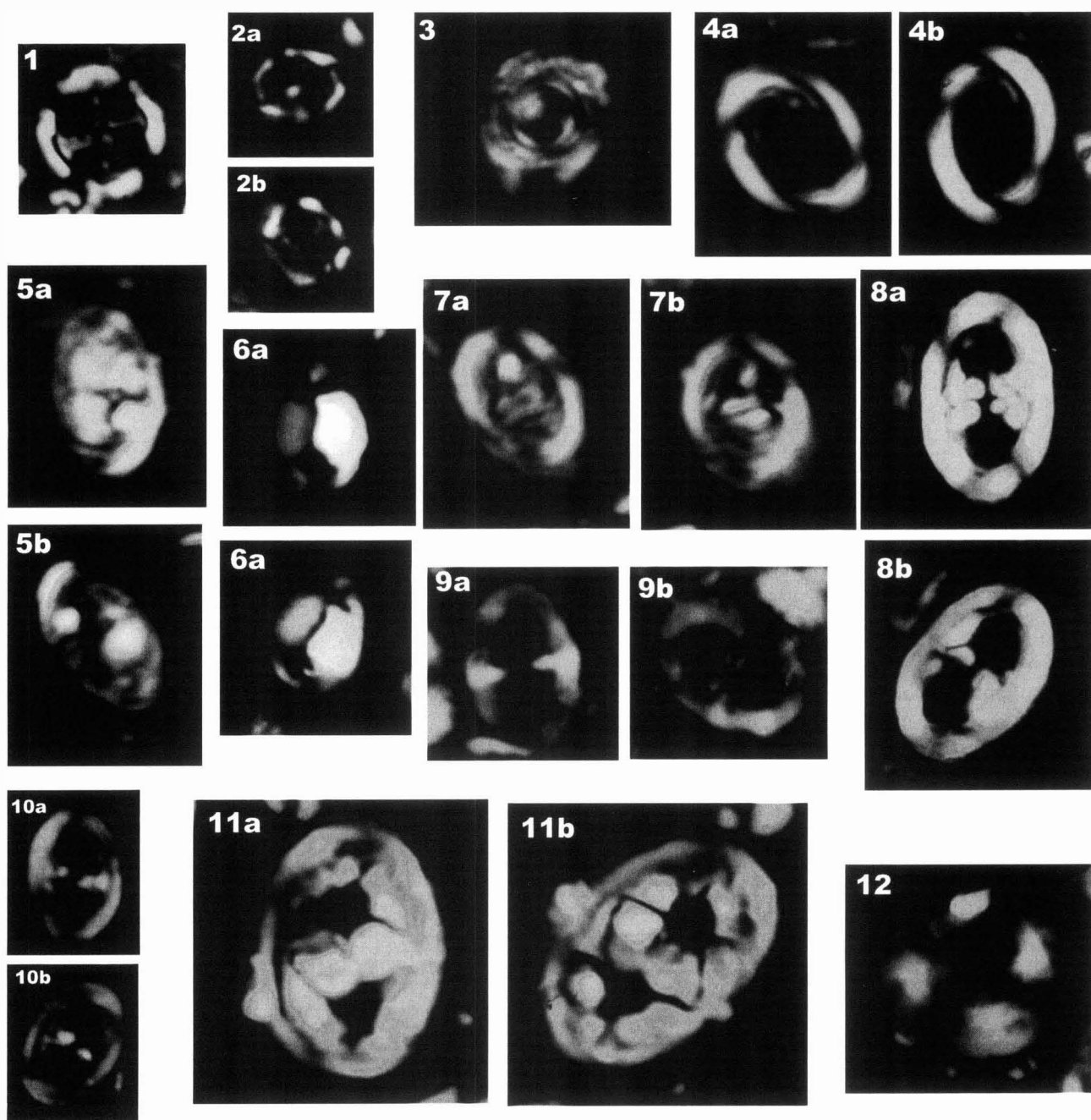
## ESTAMPA 2 (Fotos em microscópio ótico)

1. *Chiastozygus litterarius*; LP=90° (a) e 45° (b) - eixo maior 8  $\mu$ m - DSDP-364 (618,89 m). 2. *Helicolithus trabeculatus*; LP=90° (a) e 45° (b) - eixo maior 9  $\mu$ m - DSDP-356 (697,15 m). 3. *Helicolithus anceps*; LP=90° (a) e 45° (b) - eixo maior 9  $\mu$ m - DSDP-356 (697,15 m). 4. *Tegumentum stradneri*; LP=90° (a) e 45° (b) - eixo maior 7  $\mu$ m - DSDP-356 (697,15 m). 5. *Eiffellithus turriseiffelii*; LP=90° (a) e 45° (b) - eixo maior 11  $\mu$ m - DSDP-511 (366,2 m). 6. *Eiffellithus eximius*; LP=90° (a) e 45° (b) - eixo maior 10  $\mu$ m - DSDP-511 (395,89 m). 7. *Manivitella pemmatoidea*; LP - eixo maior 6  $\mu$ m - DSDP-364 (646,70 m). 8. *Watznaueria barnesae*; LP - diâmetro 6  $\mu$ m - DSDP-511 (366,2 m). 9. *Watznaueria biporta*; LP - diâmetro 7  $\mu$ m - DSDP-511 (366,2 m). 10. *Axopodorhabdus albianus*; LP=90° (a) e 45° (b) - eixo maior 8  $\mu$ m - DSDP-364 (708,74 m).



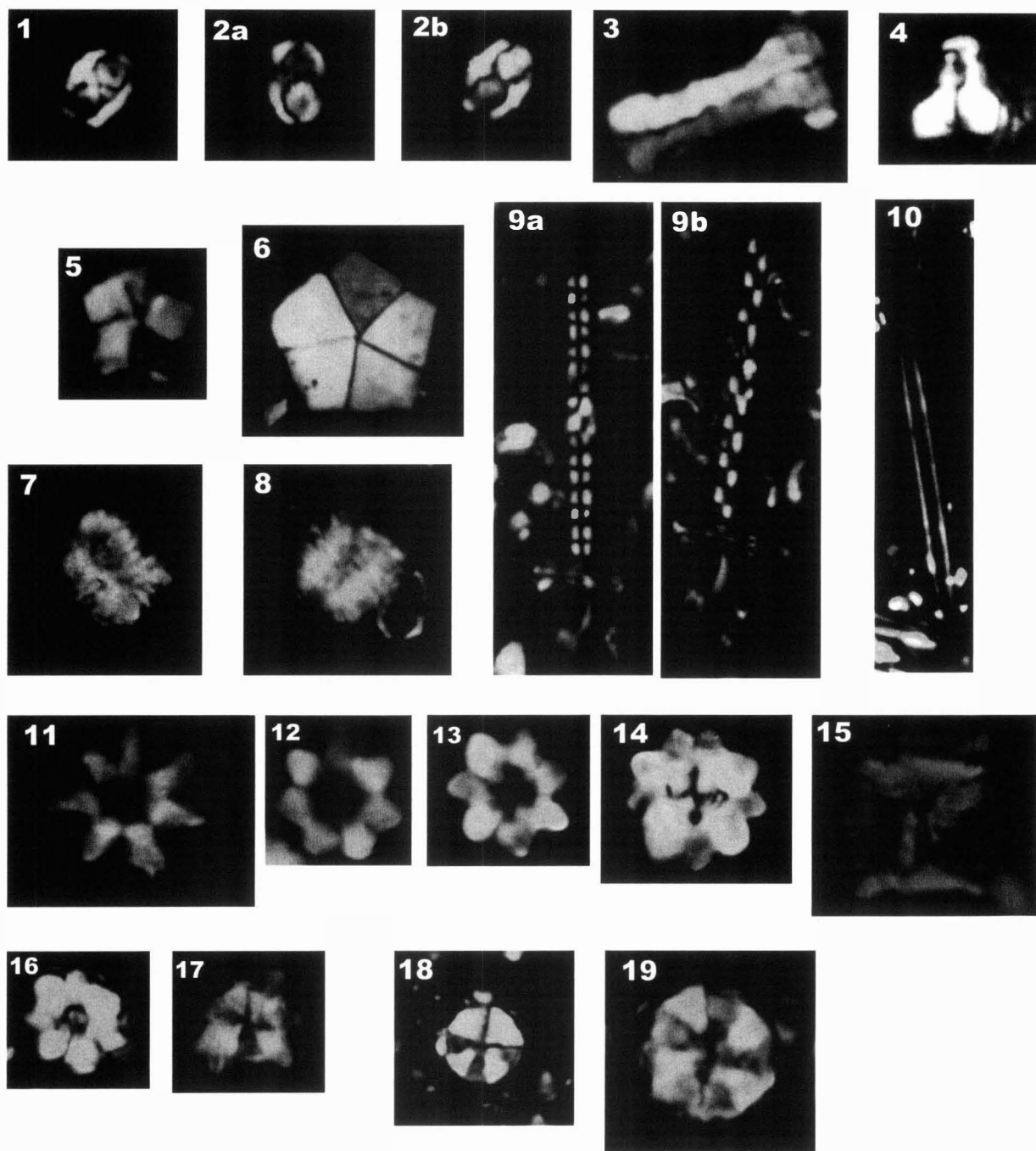
### ESTAMPA 3 (Fotos em microscópio ótico)

1. *Stradneria crenulata*; LP - eixo maior 10  $\mu\text{m}$  - DSDP-364 (618,89 m). 2. *Cretarhabdus conicus*; LP=90° (a) e 45° (b) - eixo maior 11  $\mu\text{m}$  - DSDP-511 (396,2 m). 3. *Microstaurus chiastius*; LP=90° (a) e 45° (b) - eixo maior 6  $\mu\text{m}$  - DSDP-364 (708,5 m). 4. *Prediscosphaera cretacea*; LP - eixo maior 5  $\mu\text{m}$  - DSDP-364 (646,7 m). 5. *Grantarhabdus coronadventis*; LP=90° (a) e 45° (b) - eixo maior 12  $\mu\text{m}$  - DSDP-511 (396,20 m). 6. *Prediscosphaera columnata*; LP - diâmetro 5  $\mu\text{m}$  - DSDP-364 (646,7 m). 7. *Prediscosphaera spinosa*; LP - eixo maior 7  $\mu\text{m}$  - DSDP-364 (646,7 m). 8. *Cribrosphaerella ehrenbergii*; LP - eixo maior 9  $\mu\text{m}$  - DSDP-511 (396,79 m). 9. *Rhagodiscus angustus*; LP=90° (a) e 45° (b) - eixo maior 7  $\mu\text{m}$  - DSDP-356 (696,25 m). 10. *Rhagodiscus splendens*; LP=90° (a) e 45° (b) - eixo maior 8  $\mu\text{m}$  - DSDP-356 (695,55 m). 11. *Rhagodiscus splendens*; LP=90° (a) e 45° (b) - eixo maior 9  $\mu\text{m}$  - DSDP-364 (620,64 m). 12. *Rhagodiscus asper*; LP=90° (a) e 45° (b) - eixo maior 10  $\mu\text{m}$  - DSDP-364 (708,5 m). 13. *Rhagodiscus achlyostaurion*; LP=90° (a) e 45° (b) - eixo maior 7  $\mu\text{m}$  - DSDP-364 (644,6 m).



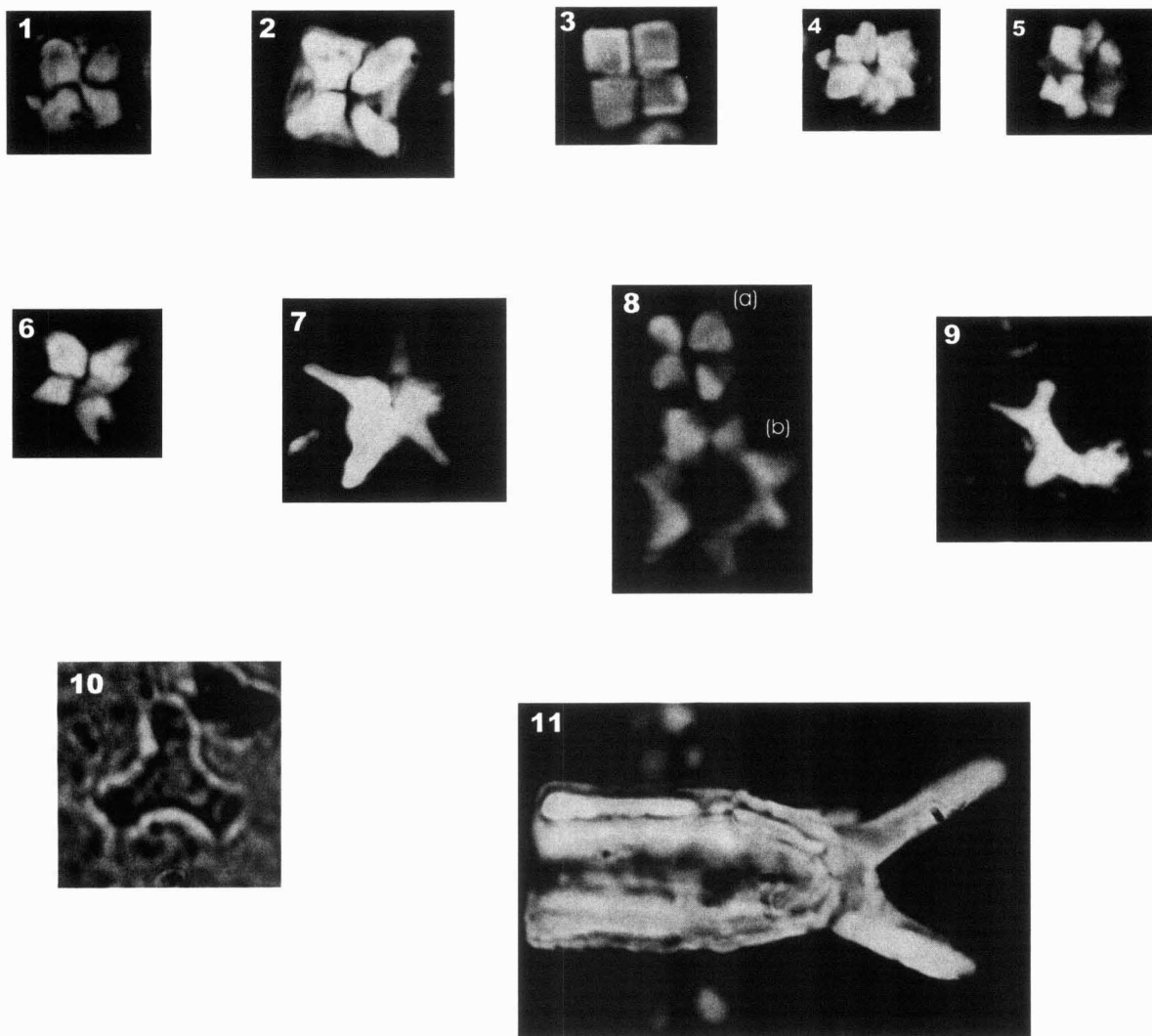
#### ESTAMPA 4 (Fotos em microscópio ótico)

1. *Stoverius achylosus*; LP - diâmetro 4  $\mu\text{m}$  - DSDP-364 (645 m). 2. *Corollithion signum*; LP=90° (a) e 45° (b) - diâmetro 3  $\mu\text{m}$  - DSDP-364 (621 m). 3. *Cylindralithus* sp.; LP - diâmetro 6  $\mu\text{m}$  - DSDP-364 (620,2 m). 4. *Loxolithus armilla*; LP=90° (a) e 45° (b) - eixo maior 7  $\mu\text{m}$  - DSDP-364 (645,40 m). 5. *Tranolithus orionatus*; LP=90° (a) e 45° (b) - eixo maior 7  $\mu\text{m}$  - DSDP-356 (697,15 m). 6. *Tranolithus gabalus*; LP=90° (a) e 45° (b) - eixo maior 5  $\mu\text{m}$  - DSDP-364 (708,50 m). 7. *Glaukolithus compactus*; LP=90° (a) e 45° (b) - eixo maior 7  $\mu\text{m}$  - DSDP-364 (708,50 m). 8. *Glaukolithus diplogrammus*; LP=90° (a) e 45° (b) - eixo maior 8  $\mu\text{m}$  - DSDP-511 (396,79 m). 9. *Zeugrhabdotus erectus*; LP=90° (a) e 45° (b) - eixo maior 5  $\mu\text{m}$  - DSDP-356 (701,15 m). 10. *Placozygus fibuliformis*; LP=90° (a) e 45° (b) - eixo maior 6  $\mu\text{m}$  - DSDP-356 (701,15 m). 11. *Zeugrhabdotus embergeri*; LP=90° (a) e 45° (b) - eixo maior 11  $\mu\text{m}$  - DSDP-364 (645,0 m). 12. *Haquius circumradiatus*; LP - diâmetro 6  $\mu\text{m}$  - DSDP-356 (697,35 m).



## ESTAMPA 5 (Fotos em microscópio ótico)

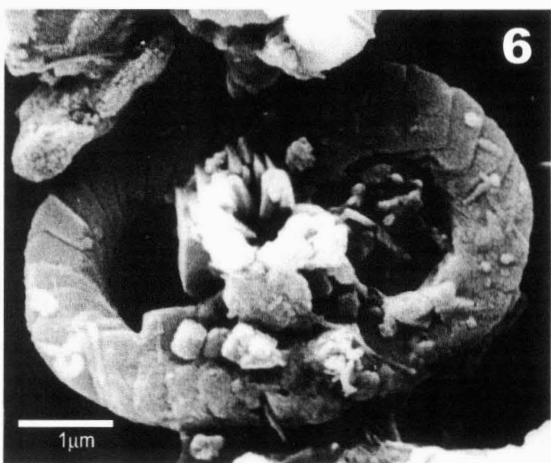
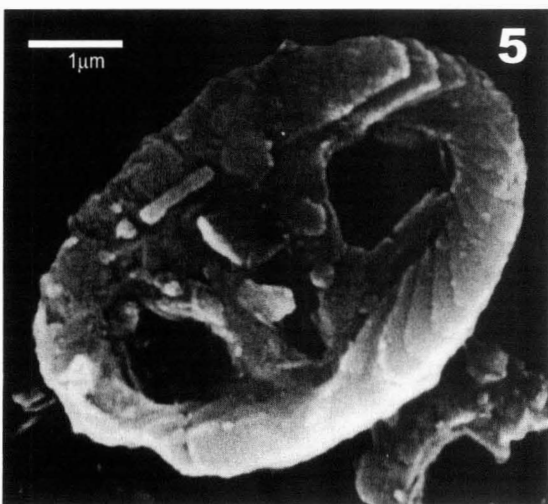
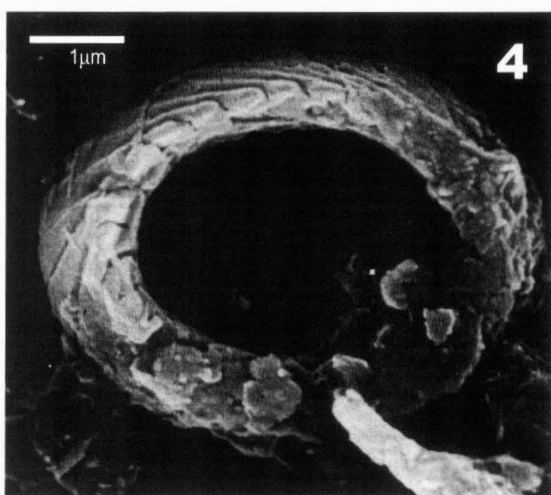
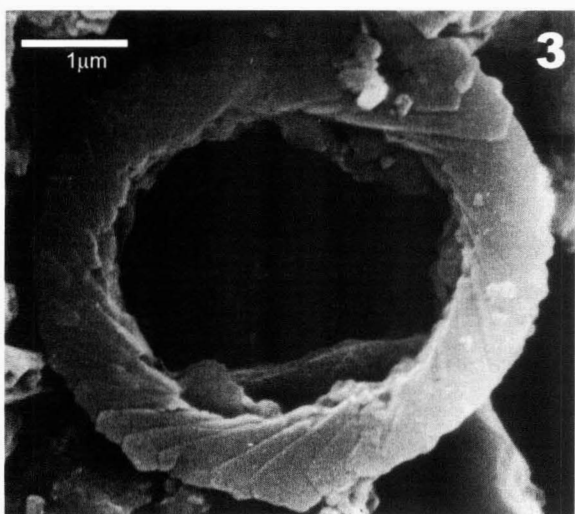
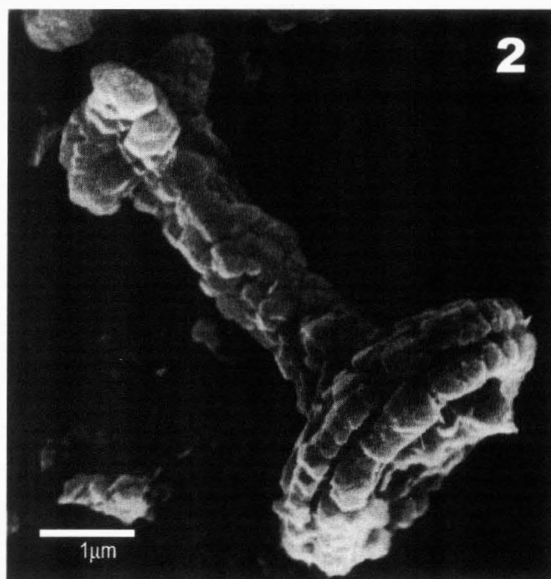
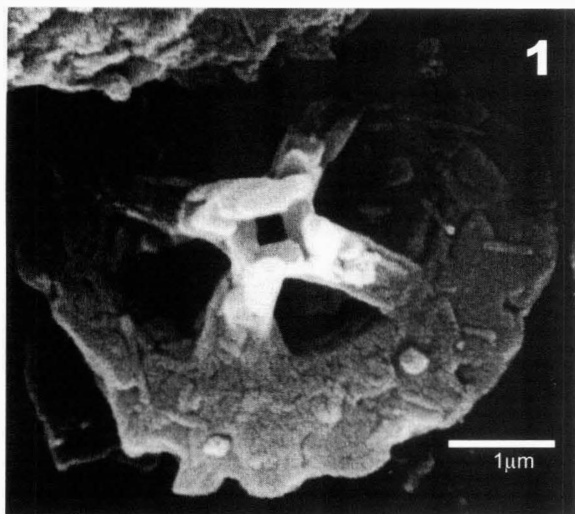
1. *Orastrum partitum*; LP - eixo maior 4  $\mu$ m - SE-1 (850,5 m). 2. *Owenia hilli*; LP=90° (a) e 45° (b) - eixo maior 4  $\mu$ m - SE-1 (850,5 m). 3. *Lucianorhabdus cayeuxii*; LP=45° - comprimento 7  $\mu$ m - DSDP-511 (394,9 m). 4. *Lucianorhabdus maleformis*; LP=90° - comprimento 3  $\mu$ m - SA-1 (3309,6 m). 5. *Braarudosphaera africana*; LP - diâmetro 6  $\mu$ m - SE-1 (443,8 m). 6. *Braarudosphaera bigelowii*; LP - diâmetro 10  $\mu$ m - SE-1 (443,8 m). 7 e 8. *Nannoconus truitti*; LP - diâmetro 5  $\mu$ m - SE-1 (850,5 m). 9. *Microrhabdulus decoratus*; LP=90° (a) e 45° (b) - comprimento 13  $\mu$ m - DSDP-364 (645,0 m). 10. *Lithraphidites carniolensis*; LP - comprimento 15  $\mu$ m - DSDP-511 (394,9 m). 11, 12 e 13. *Eprolithus eptapetalus*; LP - diâmetro 6, 5 e 5  $\mu$ m - DSDP-364 (648,2 m). 14. *Eprolithus floralis*; LP - diâmetro 6  $\mu$ m - DSDP-364 (646,7 m). 15. *Eprolithus apertior*, LP - altura 7  $\mu$ m - DSDP-364 (645 m). 16. *Eprolithus octapetalus*; LP - diâmetro 4  $\mu$ m - DSDP-364 (648,4 m). 17. *Lithastrinus moratus*; LP - diâmetro 5  $\mu$ m - DSDP-356 (697,15m). 18. *Radiolithus planus*; LP - diâmetro 5  $\mu$ m - DSDP-364 (648,7 m). 19. *Radiolithus undosus*; LP - diâmetro 9  $\mu$ m - DSDP-364 (648,7 m).



## ESTAMPA 6 (Fotos em microscópio ótico)

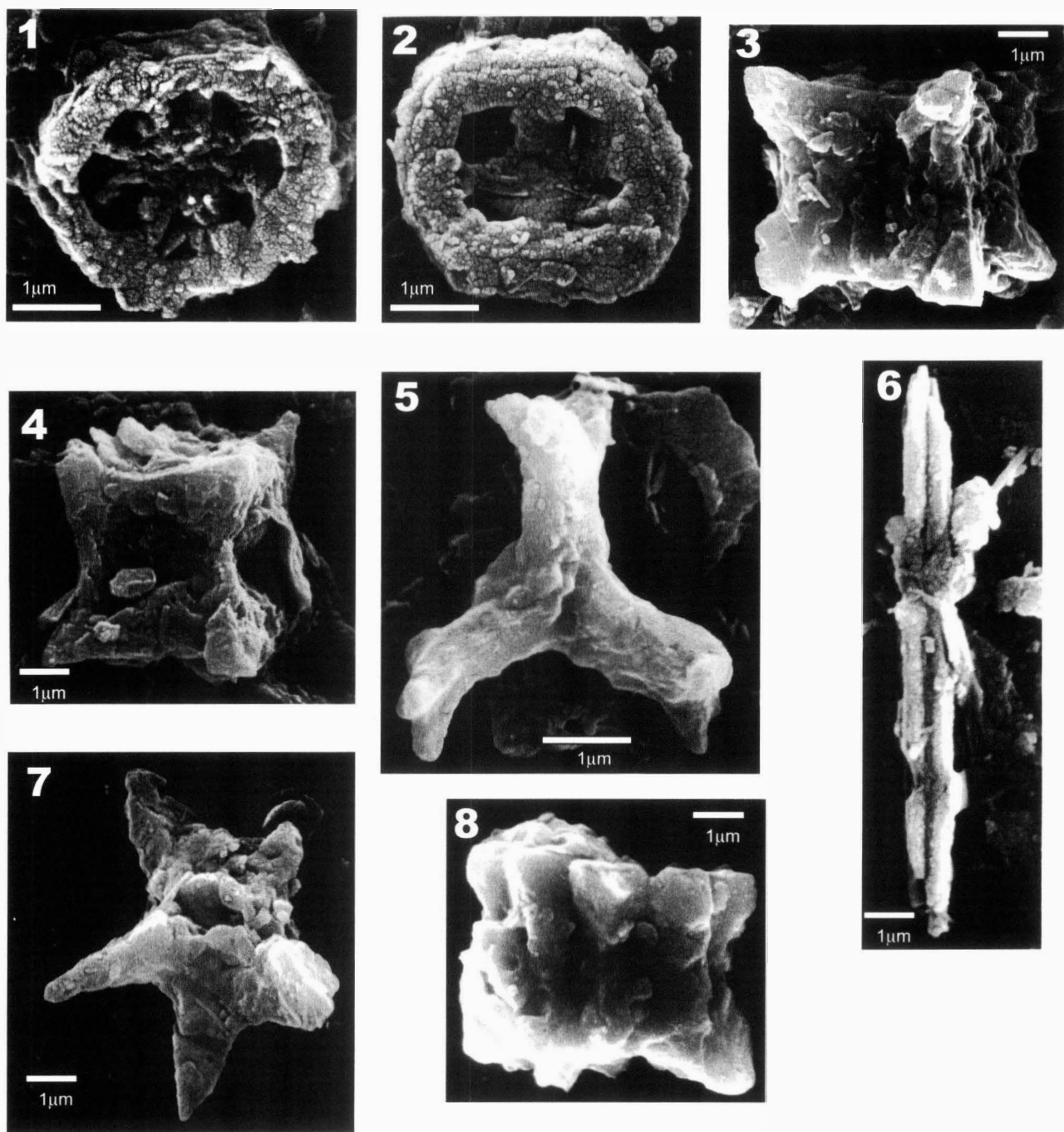
1. *Micula adumbratus*; LP - largura 4  $\mu\text{m}$  - DSDP-356 (695,65 m). 2. *Micula decussata*; LP - largura 7  $\mu\text{m}$  - DSDP-530 (958,19 m). 3. *Quadrum gartneri*; LP - altura 4  $\mu\text{m}$  - DSDP-356 (619,09 m). 4 e 5. *Quadrum intermedium*; LP - diâmetro 5 e 4  $\mu\text{m}$  - DSDP-364 (648,2 m). 6. *Quadrum sp.*; LP - raio 4  $\mu\text{m}$  - DSDP-364 (648,2 m). 7. *Quadrum sp.*; LP - raio 6  $\mu\text{m}$  - DSDP-364 (648,2 m). 8. *Quadrum intermedium* (a) e *Eprolithus eptapetalus* (b); LP - raio 4 e 6  $\mu\text{m}$  - DSDP-364 (646,30m). 9 e 10. *Marthasterites furcatus*; LP e LN - raio 4 e 5  $\mu\text{m}$  - DSDP-356 (695,65 m). 11. *Lapideacassis mariae*; LP - comprimento 25  $\mu\text{m}$  - DSDP-511 (430,89 m).





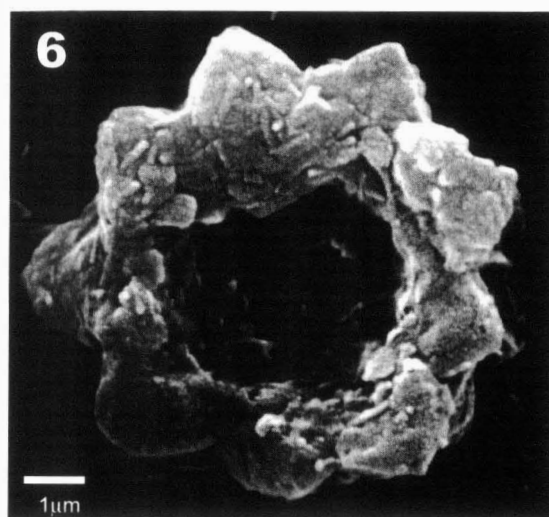
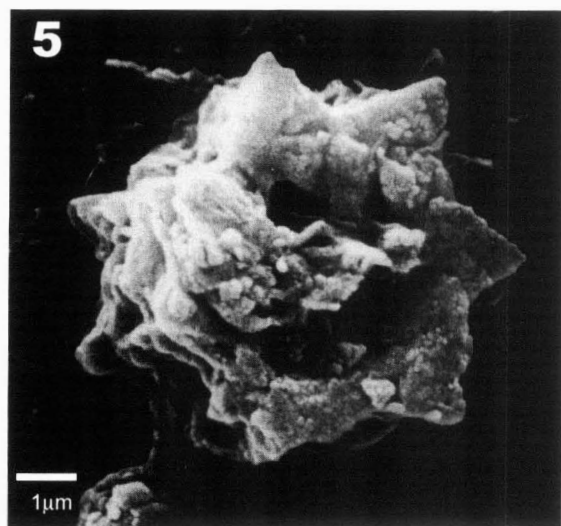
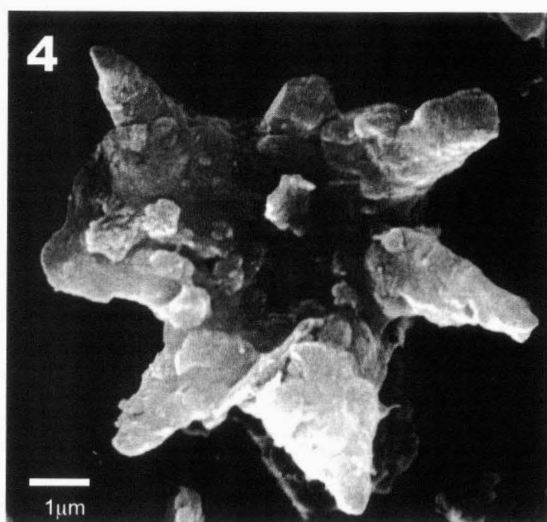
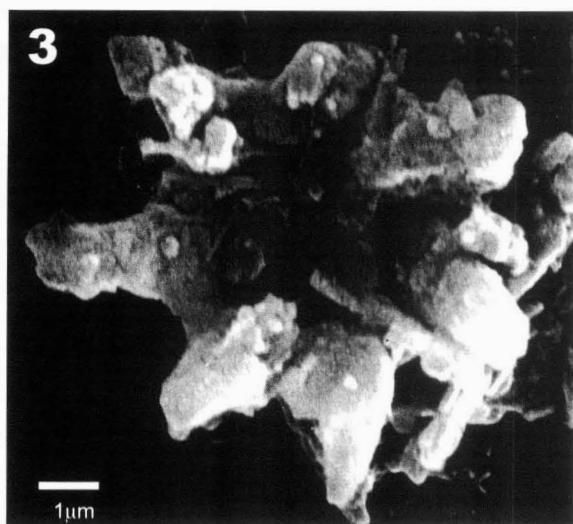
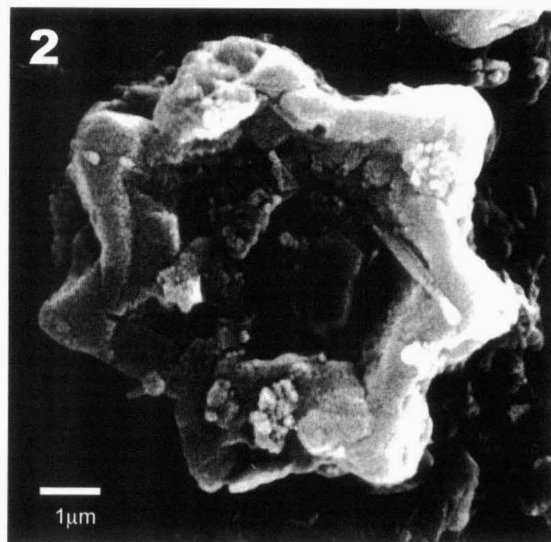
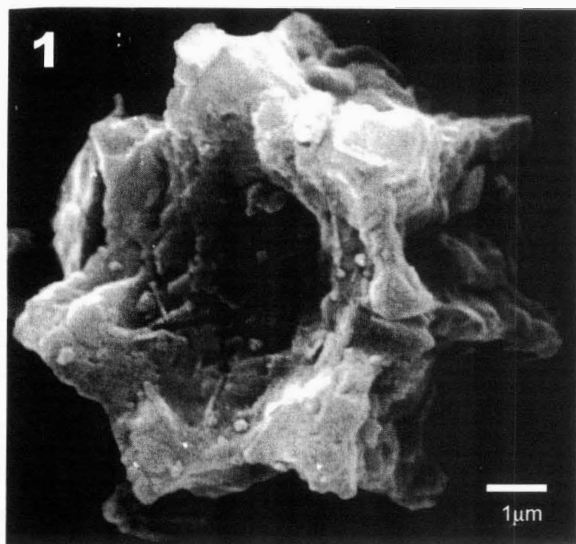
## ESTAMPA 7 (Fotos em MEV)

1. *Prediscosphaera cretacea*; vista distal - DSDP-356 (698,65 m). 2. *Prediscosphaera cretacea*; vista lateral - DSDP-356 (698,65 m). 3. *Loxolithus armilla*; DSDP-530A (1072,30 m). 4. *Manivitella pemmatoidea*; vista proximal - DSDP-356 (698,65 m). 5. *Glaukolithus compactus*; DSDP-356 (698,50 m). 6. *Zeugrhabdotus erectus*; vista distal - DSDP-356 (698,50 m).



## ESTAMPA 8 (Fotos em MEV)

1. *Corollithion exiguum*; vista proximal - DSDP-356 (697,35 m). 2. *Corollithion signum*; vista proximal - DSDP-356 (697,35 m). 3. *Micula decussata*; DSDP-356 (697,15 m). 4. *Micula decussata*; DSDP-356 (697,15 m). 5. *Marthasterites furcatus*; DSDP-356 (697,15 m). 6. *Lithraphidites carniolensis*; DSDP-356 (697,15 m). 7. *Quadrum* sp.; DSDP-356 (697,15 m). 8. *Quadrum gartneri*; DSDP-356 (697,15 m).



## ESTAMPA 9 (Fotos em MEV)

1 a 5. *Eprolithus epetapetalus*; DSDP-356 (698,85 m). Observa-se que os elementos variam de pétulas a raios. 6. *Eprolithus floralis*; DSDP-356 (698,85 m).

## ANEXO I

Título da Dissertação/Tese:

"Cicloestratigrafia no Cenomaniano Superior e Turoniano do Oceano Atlântico Sul"

Área de Concentração: Estratigrafia

Autor: **ARMANDO ANTÔNIO SCARPARO CUNHA**

Orientador: Eduardo A.M. Koutsoukos

Examinador: Dr. **Clóvis Francisco Santos**

Data: 05 de março de 2001

Conceito: "A" com louvor

### PARECER:

Trata-se de um belo trabalho de integração de diferentes ferramentas de análise estratigráfica. A geoquímica, a bioestratigrafia e a cicloestratigrafia aliadas à análise estatística, foram utilizadas de maneira criteriosa, conduzindo a pesquisa a conclusões importantes sobre o intervalo estudado. Estes resultados certamente serão repescrados tanto no meio acadêmico como no meio da indústria do petróleo.

Assim, considero que os objetivos propostos foram plenamente alcançados e que as conclusões obtidas estão cientificamente muito bem sustentadas.

Especificamente, com relação ao método da cicloestratigrafia, considero mas análises consistentes e corroboradas pela bioestratigrafia. Faltem, entretanto, explicar os intervalos de amostragem e o número de amostras para análise. Além disso, por uma questão de rigor científico, os valores do  $\delta^{13}C$  obtidos deveriam ter sido corrigidos para a época de deposição do intervalo analisado, mesmo que isto não levasse a resultados diferentes dos obtidos.

*Christiano*

05/03/2001





## ANEXO I

### Título da Tese

**“Cicloestratigrafia no Cenomaniano Superior e Turoniano do Oceano Atlântico Sul”**

**Área de Concentração : Estratigrafia**

**Autor: ARMANDO ANTONIO SCARPARO CUNHA**

**Orientador: Eduardo A. M. Koutsoukos**

**Examinador: Dr. Dimas Dias Brito**

**Data: 05 de março de 2001**

**Conceito: A**

### PARECER

A temática do trabalho é de largo interesse da comunidade geocientífica nacional e internacional. As seções escolhidas foram estrategicamente bem escolhidas. A concepção empregada foi um ponto alto nesta contribuição. Com o cruzamento de dados bioestratigráficos, geoquímicos, de perfis elétricos e bioestatísticos, dentro de um contexto de análise cicloestratigráfica, o autor investigou a natureza das variações litológicas presentes em seções cenomaniano-turonianas do Atlântico Sul. Tal procedimento resultou na obtenção de resultados que devem ser divulgados em revista estrangeira de larga circulação.

O autor executou análises taxonômicas e estabeleceu zoneamentos bioestratigráficos de nanofósseis calcários para seções da margem atlântica brasileira e de outros pontos do A. Sul, bem como discutiu o significado das associações ~~(variações)~~ nanofossilíferas diante das flutuações litogeoquímicas. “Revisitou” seções testemunhadas pelo DSDP, anteriormente investigadas por cientistas importantes na área de nanofósseis calcários, analisando criticamente as informações disponíveis na literatura e introduzindo dados novos.

O autor manejou e interpretou uma considerável massa de dados estatísticos, além de mostrar-se desenvolto para discutir e interpretar dados geoquímicos e de perfis elétricos. Apresentou de início, com clareza e de maneira didática, os conceitos de base utilizados na pesquisa e soube empregá-los no momento oportuno.

O autor da tese demonstrou que sabe fazer uma investigação científica, bem como relatar adequadamente sua pesquisa. Trata-se de pesquisador maduro que certamente honrará seu título de Doutor em Ciências.

Assinatura:

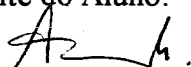


Porto Alegre, 05 de março de 2001.

Ciente do Orientador:



Ciente do Aluno:



|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>ANEXO I</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| Título da Dissertação/Tese:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| "Cicloestratigrafia no Cenomaniano Superior e Turoniano do Oceano Atlântico Sul"                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| Área de Concentração: Estratigrafia                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| Autor: <b>ARMANDO ANTÔNIO SCARPARO CUNHA</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| Orientador: Eduardo A.M. Koutsoukos                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| Examinador: Profa. Dra. Valesca Brasil Lemos                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| Data: 5/3/2001                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| Conceito: EXCELENTE A com louvor                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| <b>PARECER:</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| <p>O trabalho em questão é excelente resultado após anos de dedicação do doutorando, denotando cuidados ímpar no tratamento dos assuntos abordados.</p> <p>Os objetivos propostos, considero plenamente alcançados.</p> <p>Destaco a metodologia bastante vasta e bem desenvolvida, destaco também a ótima qualidade de das bem elaboradas figuras, mesmo as de outros autores, todas traduzidas e editadas.</p> <p>Quanto à estruturação do trabalho, considero que o item 13.3 pag 274 deveria fazer parte do capítulo de Generalidades, também outros capítulos, com inúmeras impressões. O referido item, embora bem amarrado aos dados do trabalho, é teórico e estaria mais adequado na Parte I.</p> <p>Algumas páginas serão referidas a seguir, correspondentes a perguntas feitas ao candidato, quando de sua defesa.</p> <p>Página 21 - As afirmações de que a oeste do Pangea existia um subcintamento oceânico denominado Mar de Tetis. A localização certa é a leste.</p> <p>Página 22 - início de página: "Mais tarde, durante o Cretáceo Médio (Aptiano)..." Estaria mais correto dizer Mesocretáceo.</p> <p>Sobre as afirmações feitas nas páginas 24 e 25, onde são detectadas similitudes entre o</p> |

Mar de Tetis e Oceano Atlântico Sul, além dos pitonólitos, citados pelo autor, outras evidências devem ser acrescentadas, como as algas Selenoporeáceas e os crinóides pelágicos.

Página 186 - Considerações sobre os dados de geoquímica e origem das águas. Referiu-se o autor: "... sobretudo porque a base de dados utilizada para análise ciclostratigráfica foi o Índice Colorimétrico". Tenho a considerar que:

a) Falte explicação na Metodologia de como funciona o índice  
b) Foi Metodologia válida, sobretudo para os testemunhos do DSDP, na falta de outro

c) Porque no poço SE-1, fig. 12.11, p. 249, onde você usou o Índice Colorimétrico, você não fez correção para validar seu método? Ou porque, nos afloramentos não usou cintilometria e gerar perfil para comparar com os fols 12.1 e 12.2?

Páginas 231 e 232 referiu-se a Ciclostrografia dos Carbonatos e Caracterização faciológica. Em vários parágrafos há Referências ou raras registos de parte mais proximal de rampa carbonática e às características petrográficas dominante, quais sejam "mudstones" ou "wackstones" com forami- níferos, pitonólitos e fragmentos de invertebrados, presença esporádica de radiolários esféricos e interpretação de uma faixa de águas relativamente rasas... Tenho a considerar:

a) Falte referência à terminologia adotada que é Dunham (1962)

b) A faciológica dos carbonatos da Baía deve estar mais ilustrada e detalhada para fornecer melhor indicação paleoambiental. Ver fotos 12.7 e 12.8 que representam a mesma coisa.

c) Qual o critério adotado para indicação de águas mais rasas? Os eventuais fragmentos de invertebrados que devem corresponder a *Inoceramus*, coracopora fns, são de águas mais profundas?

d) A referência a dolomite zonada merece ilustração, uma vez que não é comum.

Página 246 - Lio que se refere à exportação de sedimentos de uma plataforma carbonática rasa para ambiente mais profundo, requerendo excesso de produção e energia para o transporte. Tenho a dizer que esta raciocínio parte do pressuposto de que os calciturbiditos são compostos por sedimentos produzidos na plataforma rasa. Entretanto, as evidências faciológicas não levam a esta interpretação. A sedimentação é toda de águas relativamente profundas, sendo que a diferença na composição dos calciturbiditos se deve mais aos movimentos tectônicos. O modelo teórico assumido não se aplica totalmente ao Batinuibe.

Assinatura: Rolando Bogen Keller

Data: 05/03/2004

Ciente do Orientador: Charles K. Toth

Ciente do Aluno: Aluno